



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

114 A-4

PROSPECCION DE ARIDOS EN GALICIA

ANEXO II: DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA

ITGE 1991

11278



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

RELACION DE NORMAS DEL LABORATORIO DEL TRANSPORTE PARA MEZCLAS ASFALTICAS

| NORMA | ENSAYO |
|--------------|--|
| NLT - 113/72 | Equivalente de arena |
| NLT - 124/72 | Penetración de materiales bituminosos |
| NLT - 149/72 | Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles. |
| NLT - 150/72 | Análisis granulométricos de áridos gruesos y finos. |
| NLT - 151/72 | Análisis granulométrico del filler mineral |
| NLT - 153/76 | Densidad relativa y absorción de áridos gruesos |
| NLT - 159/73 | Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. |
| NLT - 162/75 | Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión). |
| NLT - 164/76 | Contenido de ligante de mezclas bituminosas |
| NLT - 165/76 | Análisis granulométrico de los áridos extraídos de mezclas bituminosas. |
| NLT - 166/76 | Adhesividad a los áridos de los ligantes bituminosos en presencia del agua. |
| NLT - 168/75 | Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas. |
| NLT - 174/72 | Pulimento acelerado de los áridos |
| NLT - 175/73 | Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo RRL. |
| NLT - 176/74 | Densidad aparente del filler en tolueno |
| NLT - 354/74 | Índice de lajas y de agujas de los áridos para carreteras. |
| NLT - 355/74 | Adhesividad a los áridos finos de los ligantes bituminosos (procedimiento Riedel-Weber). |

APENDICE n°3

NORMAS DE ENSAYO DEL LABORATORIO DEL TRANSPORTE

NLT-113/72

Equivalente de arena

1. OBJETO

- 1.1. Esta Norma comprende un método rápido para determinar un índice representativo de la proporción y características de los finos, tales como arcilla, polvo, etc., que contiene un suelo granular o un árido fino.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Una probeta cilíndrica con un diámetro interior de 32 mm y unos 430 mm de altura, graduada hasta 380 mm de 2 en 2 mm, provista de un tapón de goma que ajuste en la boca de la probeta.
- 2.2. Un tubo irrigador de latón o cobre de unos 6 mm de diámetro exterior, cerrado por su extremo inferior por aplastamiento en forma de cuña. Tendrá dos orificios laterales de 1 mm de diámetro en los lados planos de la cuña, cerca de la punta.
- 2.3. Un recipiente de unos 4 litros de capacidad, con un sifón acoplado consistente en un tapón con dos tubos que lo atraviesan, uno de ellos sumergido en el líquido y el otro sobre su nivel para la entrada de aire. El recipiente se silúa 1 m por encima de la mesa de trabajo y se utiliza para contener la solución de trabajo.
- 2.4. Un trozo de tubo de goma de unos 5 mm de diámetro, con una pinza que permita cortar el paso de líquido a través del mismo. Este trozo de goma se usa para unir el tubo irrigador con el sifón.
- 2.5. Una pieza de metal, consistente en una varilla de 6 mm de diámetro y 445 mm de longitud, que tiene en su parte inferior un pie formado por un cono, con base de 25,4 mm de diámetro y normal al eje de la varilla, que se continúa por su base en un cilindro de igual diámetro y unos 5 mm de altura; en la superficie de este cilindro hay tres pequeños tornillos para centrarlo dentro de la probeta (de forma aproximada, ya que el conjunto debe quedar con holgura dentro de la misma). La parte superior de la varilla lleva un lastre cilíndrico de unos 50 mm de diámetro y longitud necesaria para que el conjunto pese 1 kg (varilla, pie cónico y lastre). Consta además la varilla de un disco que se adapta a la parte superior de la probeta, taladrado en su centro, de forma que permita el paso de la varilla y sirva para centrarla.

-
- 2.6. Una medida de 85 ± 5 cm³.
 - 2.7. Un embudo para verter el suelo dentro de la probeta.
 - 2.8. Un cronómetro o reloj.
 - 2.9. Solución:
 - 2.9.1. Solución tipo, compuesta como sigue:
 - 480 g de cloruro cálcico anhidro.
 - 2170 g de glicerina pura.
 - 50 g de solución de formaldehído al 40 por 100 en volumen.Disolver los 480 g de cloruro cálcico anhidro en 2000 cm³ de agua. Dejar reposar y filtrar. Añadir los 2170 g de glicerina y los 50 g de formaldehído a la solución filtrada, mezclar bien y diluir con agua hasta 4000 cm³. El agua debe ser destilada o natural de buena calidad.
 - 2.9.2. Solución de trabajo:
 - Diluir 85 cm³ de solución tipo en agua, hasta 4000 cm³.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra:
 - 3.1.1. De la muestra original, separar la necesaria para el ensayo según la técnica expuesta en la Norma correspondiente, NLT-101/72 y, en particular, el apartado 3.4.3.
 - 3.1.2. El ensayo del equivalente de arena debe hacerse en suelos o áridos desecados a una temperatura de 95 a 120 °C. Los ensayos con suelos húmedos dan generalmente valores del equivalente de arena más bajos. No obstante, se puede ahorrar mucho tiempo no secando las muestras antes del ensayo, sobre todo en obra. Esto es admisible y los resultados válidos, siempre que queden dentro de los límites fijados por las especificaciones; pero las muestras que por este procedimiento den resultados del equivalente de arena saliéndose de las especificaciones, deben ser ensayadas de nuevo, secándolas previamente.
- 3.2. Ejecución del ensayo:
 - 3.2.1. Cebarr el sifón sopiando en el recipiente de la solución por el tubo correspondiente y con la pinza del tubo de goma abierta.
 - 3.2.2. Llenar la probeta con la solución de trabajo hasta una altura de unos 10 cm.
 - 3.2.3. Verter dentro de la probeta el contenido de la medida de 85 cm³ llena de suelo preparado. Una medida llena contiene un promedio de 110 g de suelo suelto. Golpear la parte baja de la probeta varias veces con la palma de la mano, para desalojar las posibles burbujas de aire y ayudar a humedecerse la muestra. Dejar reposar durante 10 minutos.

- 3.2.4. Al cabo de los 10 minutos, tapar la probeta y agitarla vigorosamente de izquierda a derecha, manteniéndola en posición horizontal. Hacer 90 ciclos en unos 30 segundos, usando un recorrido de unos 20 cm. Un ciclo consta de un movimiento hacia la derecha seguido de otro a la izquierda. Para agitar la probeta a esta velocidad es necesario que el operador mueva los antebrazos solamente, relajando el cuerpo y los hombros. También puede hacerse mediante agitador mecánico que produzca en la probeta un movimiento de agitación como el que se ha descrito.
- 3.2.5. Quitar el tapón e introducir el tubo irrigador. Lavar el tapón y los lados de la probeta con solución de trabajo que se recoge dentro y meter el tubo irrigador hasta el fondo de la misma. Lavar el material arcilloso haciéndolo ascender hacia la parte alta de la arena por medio del líquido que sale por el tubo irrigador, mientras se mantiene la probeta en posición vertical. Aplicar al tubo irrigador un movimiento suave, ascendente, descendente y de giro entre los dedos de una mano, mientras se gira la probeta con la otra. Cuando el nivel del líquido alcanza la señal de los 38 cm, elevar el tubo irrigador despacio, sin cortar el paso de líquido, manteniendo el nivel del mismo alrededor de dicha señal mientras el tubo esté siendo extraído. Regular el paso de líquido en el momento en que el tubo va a terminar de ser extraído, de forma que cuando lo esté totalmente, el nivel quede en 38 cm. Dejar reposar durante 20 minutos (± 15 segundos).
- 3.2.6. Al final de los 20 minutos, leer el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla y anotarlo.
- 3.2.7. Bajar la varilla lastrada dentro de la probeta suavemente hasta que descansa sobre la arena. Girar la varilla ligeramente, sin empujar hacia abajo, hasta que uno de los tornillos para el centrado pueda ser visto. Leer el nivel en el centro del tornillo con una aproximación de 2 mm y anotarlo. Cuando una lectura esté entre dos trazos de la probeta, debe tomarse la superior.

4. RESULTADOS

- 4.1. El equivalente de arena se deduce de la siguiente fórmula:

$$E.A. = \frac{\text{Lectura superficie de la arena}}{\text{Lectura superficie de la arcilla}} \times 100$$

Como equivalente de arena se tomará el número entero más próximo al deducido de la fórmula anterior.

Si el valor del equivalente de arena en una muestra está por debajo del que marcan las especificaciones para dicho material, se harán dos

ensayos adicionales en la misma muestra o saco y se tomará el promedio de los tres como equivalente de arena.

5. OBSERVACIONES

- 5.1. Cuando las probetas utilizadas sean de plástico, no se deberán exponer a la luz directa del sol más que lo necesario.
- 5.2. Si el cloruro cálcico ha absorbido agua, preparar una disolución en agua a una densidad de 1,177 (20 por 100 de cloruro cálcico anhidro). De esta disolución tomar 2400 g y sobre ella añadir la glicerina, el formaldehído y el agua hasta 4000 cm³.
Para comparar un agua de calidad dudosa se harán ensayos con muestras del tipo de suelo de que se trate, utilizando soluciones hechas con el agua dudosa y con agua destilada.
- 5.3. En el caso de áridos que vayan a ser usados en planta de hormigón asfáltico, para la fabricación de revestimientos bituminosos, el equivalente de arena debe realizarse después de todo el proceso en la planta, excepto el mezclado con el aglomerante bituminoso, o sea, después de pasar a través del secador y las cribas. Este resultado es directamente comparable con el especificado para muestra seca en estufa. Si hay que hacer el control directamente sobre el material acopiado en los silos, sin secar, tener en cuenta las aclaraciones del apartado 3.12 de esta norma.
El ensayo deberá hacerse en sitio protegido de vibraciones que puedan ser causa de que el material en suspensión sedimente a mayor velocidad de la normal.
- 5.4. Aunque ligeras variaciones en el volumen del suelo no afectaran mucho a los resultados, se debe llenar la medida siempre igual; con este fin, se recomienda producir una ligera compactación mediante pequeños golpes del borde del fondo sobre la mesa antes de enrasar la medida.
- 5.5. Deberá comprobarse la manera de agitar de cada nuevo operador, para asegurarse de que se ajusta a las normas recomendadas. Se trata de completar 90 ciclos en 30 segundos; esto quiere decir que los 90 ciclos deberán hacerse en un tiempo tan próximo a los 30 segundos como sea físicamente posible. Se ha observado que hay tendencia, sobre todo en operadores nuevos, a medirse meticulosamente los 30 segundos; la consecuencia de esto es que los ciclos se distribuyen irregularmente y la agitación resulta considerablemente más o menos vigorosa que la que pretende el procedimiento de ensayo. Se ha demostrado que la forma en que se realiza la agitación por diferentes operadores puede afectar los resultados de los ensayos efectuados con ciertos materiales. Esto se explica por el grado en que los finos adheridos son erosionados por las partículas gruesas durante la agitación. Cuando sea posible, deben ejecutarse ensayos por duplicado con varios materiales, por operadores nuevos y experimentados, con objeto de poder comparar los resultados.
Un operador es rechazable si, haciendo el ensayo sobre tres porciones

secas y bien cuarteadas de la misma muestra, algún resultado de los que obtenga difiere de la media más de 4 puntos en más o en menos.

- 5.6. Normalmente se aprecia con claridad la línea de separación entre el sedimento arcilloso y la solución clara. Si no hay separación apreciable, se recomienda sobrepasar los 20 minutos de reposo hasta que sea posible hacer la lectura. Si el tiempo necesario excede de 30 minutos, se recomienda repetir el ensayo con tres muestras del mismo suelo y tomar la lectura del que permita hacerla más pronto.

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M., D-2419.

NLT-124/72**Penetración de materiales bituminosos****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la penetración de materiales bituminosos semisólidos y sólidos.
- 1.2. La penetración se define como la consistencia de un material bituminoso, expresada por la distancia en décimas de milímetro, a la que una aguja normalizada penetra verticalmente dentro de la muestra del material en unas condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura. Cuando no se mencionan expresamente las condiciones del ensayo, se entenderá que la carga, el tiempo y la temperatura son, respectivamente, 0.98 N (100 gramos-fuerza), 5s y 25 °C. La carga comprende el peso de todas las partes móviles, incluida la aguja. Otras condiciones de carga, tiempo y temperatura pueden emplearse para ensayos especiales.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Penetrómetro. — Será un aparato que permita, sin rozamiento apreciable, el movimiento vertical de un vástago z : que va firmemente unida la aguja de penetración. El aparato estará calibrado para medir directamente las unidades de penetración según el apartado 1.2. Cuando la aguja va montada en un casquillo, la masa del vástago móvil del penetrómetro será de $47,5 \pm 0,05$ g. Independientemente del tipo de montura de la aguja, la masa total del conjunto vástago y aguja será de $50,0 \pm 0,1$ g. Se dispondrá también de pesos de $50,00 \pm 0,05$ g y $100,00 \pm 0,05$ g para conseguir cargas totales de 0.98 y 1.96 N (100 y 200 gramos-fuerza), de acuerdo con las condiciones del ensayo.
- 2.2. Aguja. — La aguja (fig. 1) será de acero inoxidable totalmente endurecido y templado, con una dureza Rockwell C 57 a 60. Tendrá aproximadamente 51 mm de longitud y un diámetro de 1.00 a 1.02 mm, afilada simétricamente en uno de sus extremos formando un cono de aproximadamente 6.5 mm de altura, cuyo ángulo esté comprendido entre 0.151 y 0.169 rad ($8^{\circ} 40'$ y $9^{\circ} 40'$) en toda su longitud y cuyo eje coincida con el de la aguja, admitiéndose una desviación máxima en su punta de 12.7 μ . Después de dada la conicidad se cortará la aguja, quedando ésta con la forma de un cono truncado, cuya base menor tendrá un diámetro comprendido entre 0.14 y 0.16 mm. Este plano será perpendicular al eje de la

aguja, con una tolerancia de 35 mirad (2°) y su borde será agudo y libre de rebabas. La superficie truncada tendrá una terminación suave con tolerancia de 25 micras. La longitud libre de la aguja cuando está montada en el penetrómetro o en un casquillo, será aproximadamente 41 mm. Cuando la aguja va montada en un casquillo, éste tendrá una forma cilíndrica, de unos 3 mm de diámetro y 38 mm de longitud, estará hecho de acero inoxidable o bronce y la aguja estará unida rígida y coaxialmente en él. El peso del conjunto de la aguja con su casquillo será de $2,50 \pm 0,05$ g y tendrá un orificio en el extremo del casquillo para poder controlar este peso.

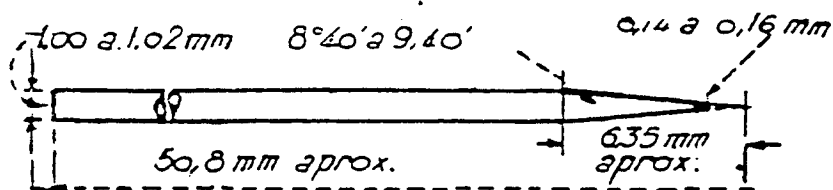


Fig. 1. — Aguja para ensayo de penetración.

- 2.3. Recipiente para la muestra. — El recipiente en el cual se ensaya la muestra será de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con un fondo plano. El recipiente que se use para materiales con una penetración menor de 200 tendrá una capacidad de unos 90 cm³. Sus dimensiones interiores serán aproximadamente de 55 mm de diámetro y 35 mm de altura. Los recipientes que se empleen para material con penetración superior a 200 serán de una capacidad de 170 cm³ y sus dimensiones interiores de 70 mm de diámetro y 45 mm de altura.
- 2.4. Baño de agua. — Para sumergir las muestras antes del ensayo se dispondrá de un baño de agua capaz de mantener la temperatura de ensayo sin una variación mayor de 0,1 °C. El volumen de agua no será menor de 10 litros. Su altura será suficiente para que permita sumergir la muestra en el agua hasta una profundidad no menor de 100 mm. La muestra estará mantenida sobre un soporte de chapa perforada a una distancia superior a 50 mm respecto del fondo. Se evitará la contaminación del agua con aceite o suciedad. Para determinaciones a bajas temperaturas puede emplearse una solución de salmuera.
- 2.5. Recipiente para el ensayo. — El recipiente donde se sumerge la muestra durante el ensayo será cilíndrico, de vidrio, metal o plástico y con el fondo plano. Estará provisto de cualquier medio que pueda asegurar un firme soporte de la muestra, así como impedir su oscilación. Tendrá un diámetro interior mínimo de 90 mm y una altura superior a 55 mm.
- 2.6. Termómetros para el baño de agua. — Para controlar la temperatura del baño se dispondrá de tres termómetros con escalas de acuerdo con la

temperatura del ensayo; se sumergirán en el baño 150 ± 15 mm y cumplirán con las siguientes características:

| Temperatura del ensayo °C | Referencia A.S.T.M. | Escala °C | Graduación °C | Longitud total mm | Error máximo °C |
|------------------------------|------------------------|--------------|------------------|----------------------|--------------------|
| 25 | 17 C | 19 a 27 | 0.1 | 275 | 0.1 |
| 0 y 4 | 63 C | - 8 a + 32 | 0.1 | 379 | 0.1 |
| 46 | 64 C | 25 a 55 | 0.1 | 379 | 0.1 |

2.7. Cronómetro. — Para penetrómetros manuales se dispondrá de un cronómetro graduado en 0.1 segundos. También podrán utilizarse penetrómetros automáticos con un mecanismo calibrado de medición de tiempo.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Preparación de la muestra.

3.1.1. La muestra de material bituminoso se calienta con cuidado, evitando los sobrecalentamientos locales, a una temperatura lo más baja posible, hasta conseguir que esté lo suficientemente fluida para permitir su vertido. Con agitación constante y evitando la inclusión de burbujas se sube la temperatura entre 80 y 90 °C por encima de su punto de reblandecimiento, cuando se trata de betunes asfálticos y no más de 56 °C por encima de su punto de reblandecimiento en el caso de alquitranes. Se vierte dentro de los recipientes para muestras, hasta una altura que sea por lo menos 10 mm mayor que el espesor al cual se prevé que penetrará la aguja durante el ensayo. El recipiente y su contenido se cubren para protegerlos contra el polvo y se dejan enfriar en el ambiente a temperatura inferior a 30 °C y superior a 21 °C, durante un período de tiempo comprendido entre hora y media y dos horas cuando la muestra esté en un recipiente de 170 cm³ y durante un período comprendido entre hora y hora y media cuando las muestras estén en recipientes de 60 cm³. Después se coloca en el baño de agua durante un tiempo comprendido entre hora y media y dos horas para las muestras grandes y hora y hora y media para las muestras pequeñas.

3.2. Condiciones de ensayo.

3.2.1. Cuando no se mencionan expresamente las condiciones de ensayo, se entenderá que la carga, el tiempo y la temperatura son, respectivamente, 0.98 N (100 gramos-fuerza), 5 segundos y 25 °C. Para ensayos especiales pueden emplearse otras condiciones tales como:

| Temperatura | Carga | Tiempo |
|-------------|----------------------------|--------|
| 0 °C | 1,96 N (200 gramos-fuerza) | 60 s |
| 4 °C | 1,96 N (200 gramos-fuerza) | 60 s |
| 46 °C | 0,49 N (50 gramos-fuerza) | 5 s |

3.3. Ejecución del ensayo.

- 3.3.1. Al hacer el ensayo, la muestra se coloca en el recipiente para ensayo con agua procedente del baño donde ha estado sumergida, lleno con la cantidad suficiente de agua para cubrir completamente el recipiente de muestra. El recipiente para ensayo conteniendo la muestra se coloca entonces sobre la base del penetrómetro. La aguja cargada con el peso correspondiente se aproxima a la superficie de la muestra hasta que haga contacto, sin penetrar. Esto se puede realizar aproximando la punta de la aguja hasta que coincida con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, auxiliándose de una lámpara colocada convenientemente. Se pone la lectura del penetrómetro a cero. Se dispara el dispositivo que mantiene retenida la aguja con su carga durante el período de tiempo normalizado y después se ajusta el dispositivo que tenga el penetrómetro para medir la distancia a que ha penetrado la aguja.
- 3.3.2. Se realizarán por lo menos tres ensayos en diferentes puntos de la superficie de la muestra a una distancia mayor de 10 mm de las paredes del recipiente y de los pinchazos anteriores. Después de cada ensayo el recipiente con la muestra se vuelve a poner en el baño de agua mientras se limpia cuidadosamente la aguja, primero con un trapo humedecido en un disolvente apropiado, para quitar todo el betún adherido, y después con un trapo limpio y seco. Cuando se obtienen penetraciones mayores de 225 se deben usar por lo menos tres agujas sin sacar las otras de la muestra hasta la terminación del ensayo, con objeto de no alterar su superficie.

4. RESULTADOS

4.1. Expresión de los resultados.

- 4.1.1. Acompañando al valor de los resultados se indicarán las condiciones de carga, tiempo y temperatura en que ha sido realizado el ensayo.
- 4.1.2. El resultado del ensayo será la media, calculada con aproximación de una unidad, de al menos tres ensayos cuyos valores no difieran en más de la siguiente cantidad:

| Peneiración | 0 a 49 | 50 a 149 | 150 a 249 | Mayor de 249 |
|--|--------|----------|-----------|--------------|
| Diferencia máxima entre los valores determinados ... | 2 | 4 | 6 | 8 |

4.2. Precisión.

4.2.1. Repetición. Dos resultados obtenidos por el mismo operador, sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, empleando el mismo aparato y en diferentes días, no se considerarán aceptables si difieren en más de las siguientes cantidades a 25 °C:

| | |
|---|------------------|
| Betunes asfálticos con penetración menor de 50. | 1 unidad |
| Betunes asfálticos con penetración igual o superior a 50. | 3 % de su media |
| Breas de alquitrán. | 15 % de su media |

4.2.2. Reproducción. Dos resultados obtenidos por diferentes operadores, en diferentes laboratorios y en diferentes días, no se considerarán aceptables si difieren en más de las siguientes cantidades a 25 °C:

| | |
|---|-----------------|
| Betunes asfálticos con penetración menor de 50. | 4 unidades |
| Betunes asfálticos con penetración igual o superior a 50. | 8 % de su media |
| Breas de alquitrán. | 4 unidades |

5. OBSERVACIONES

5.1. Es conveniente la comprobación frecuente del libre deslizamiento del mecanismo del penetrometro, del correcto estado de la aguja y de las cargas normalizadas.

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M. D 5-65.

UNE 7013.

NLT-149/72

**Resistencia al desgaste de los áridos por medio
de la máquina de Los Angeles**

1. OBJETO

- 1.1. Este método recoge el procedimiento que debe seguirse para realizar el ensayo de desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles.
- 1.2. El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de los áridos de machaqueo o naturales, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.
- 1.3. La utilización de uno u otro de los procedimientos descritos dependerá de la granulometría prevista para el empleo del material.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Máquina Los Angeles.—La máquina para el ensayo de desgaste Los Angeles tendrá las características que se indican en la figura 1. Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de 508 mm (20 pulgadas) y un diámetro, también interior, de 711 mm (28 pulgadas). Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que puede girar en posición horizontal alrededor de estos ejes. El cilindro estará provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir su volteo y el de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con junta que impida la salida del polvo, que se fija por medio de pernos. La tapa se diseñará de modo que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectará radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en una longitud de 89 mm (3,5 pulgadas). Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado, de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. La distancia del entrepaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro y en el sentido de la rotación, será mayor de 1,3 m (50 pulgadas).

Nota 1.—Es preferible el empleo de un entrepaño de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montado independientemente de la tapa. No obstante, se puede usar una sección angular montada adecuadamente en la parte interior de la tapa, teniendo en cuenta la dirección de rotación para que la carga sea recogida por la cara exterior del angular.

Nota 2.—La superficie del entrepaño de la máquina de Los Angeles está sometida a un fuerte desgaste e impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm, desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. Si el entrepaño está hecho de una sección angular, no solamente se puede formar este relieve, sino que aquél se puede llegar a doblar longitudinal o transversalmente respecto a su correcta disposición, por lo que debe ser revisado periódicamente. Si se observa alguno de estos defectos, el entrepaño debe ser reparado o reemplazado antes de realizar nuevos ensayos. La influencia de todos estos factores sobre los resultados del ensayo no son conocidos; sin embargo, para uniformar las condiciones de ensayo se recomienda eliminar el relieve formado cuando su altura sea superior a 2 mm.

- 2.2. Tamices.— Todos los tamices que se emplean en este método estarán de acuerdo con la norma UNE 7050 (A.S.T.M. D: E 11-70).
- 2.3. Carga abrasiva.— La carga abrasiva consistirá en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46,8 mm (1 27/32 pulgadas) y una masa comprendida entre 390 g a 445 g.
- 2.3.1. Carga abrasiva para áridos con tamaño comprendido entre 20 y 80 mm.— La carga abrasiva consistirá en 12 esferas de acero del diámetro y masa especificada en el apartado 2.3, y con una masa total de 5000 ± 25 g para cualquiera de las granulometrías E, F o G que se indican en el apartado 3.1.
- 2.3.2. Carga abrasiva para áridos de tamaño comprendido entre 2.5 y 40 mm.— La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en el apartado 3.2, de acuerdo con la tabla I siguiente:

TABLA I

| Granulometría de ensayo | Número de esferas | Masa total g |
|-------------------------|-------------------|---------------|
| A | 12 | 5000 ± 25 |
| B | 11 | 4584 ± 25 |
| C | 8 | 3330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

Nota 3.— Esferas de acero de diámetro y masa aproximadamente de acuerdo con las características indicadas en el apartado 2.3 pueden encontrarse fácilmente en el mercado.

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- 3.1. Preparación de la muestra de árido de tamaño comprendido entre 20 y 80 mm.— La muestra de ensayo consistirá en árido limpio por lavado y representativo del material a ensayar, desecada en estufa a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C hasta masa constante, con el que se compondrá una de las granulometrías indicadas en la tabla II. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del árido tal y como va a ser utilizado en la obra. La masa de la muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 5 g.

TABLA II

GRANULOMETRIAS DE LA MUESTRA DE ARIDO PARA ENSAYO

| Tamaño del tamiz | | | | Masas y granulometrías de la muestra para ensayo (g) | | |
|----------------------|----------|----------------|----------|--|------------|------------|
| Pasa UNE | A.S.T.M. | Retiene UNE | A.S.T.M. | E | F | G |
| 80 | 3" | 63 | 2 1/2" | 2500 ± 50 | | |
| 63 | 2 1/2" | 50 | 2" | 2500 ± 50 | | |
| 50 | 2" | 40 | 1 1/2" | 5000 ± 50 | 5000 ± 50 | |
| 40 | 1 1/2" | 25 | 1" | | 5000 ± 25 | 5000 ± 25 |
| 25 | 1" | 20 | 3/4" | | | 5000 ± 25 |
| <i>Totales</i> | | | | 10000 ± 100 | 10000 ± 75 | 10000 ± 50 |

- 3.2. Preparación de la muestra de árido de tamaño comprendido entre 2.5 y 40 mm.— La muestra de ensayo consistirá en árido limpio por lavado y representativo del material a ensayar, desecado en estufa a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C hasta masa constante, de la que se compondrá una de las granulometrías indicadas en la tabla III. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del árido tal y como va a ser utilizado en la obra. La masa de la muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g.

TABLA III
 GRANULOMETRIAS DE LA MUESTRA DE ARIDO PARA ENSAYO

| Tamaño del tamiz | | | | Masas y granulometrias de la muestra para ensayo (g) | | | |
|----------------------|----------|---------|----------|--|-----------|-----------|-----------|
| Pasa | | Retiene | | A | B | C | D |
| UNE | A.S.T.M. | UNE | A.S.T.M. | | | | |
| 40 | 1 1/2" | 25 | 1" | 1250 ± 25 | | | |
| 25 | 1" | 20 | 3/4" | 1250 ± 25 | | | |
| 20 | 3/4" | 12.5 | 1/2" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 12.5 | 1/2" | 10 | 3/8" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 10 | 3/8" | 6.3 | 1/4" | | | 2500 ± 10 | |
| 6.3 | 1/4" | 5 | N.º 4 | | | 2500 ± 10 | |
| 5 | N.º 4 | 2.5 | N.º 8 | | | | 5000 ± 10 |
| <i>Totales</i> | | | | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 |

3.3. Cuando la muestra se machaque en el laboratorio se hará constar en el informe, debido a la influencia de la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

4. PROCEDIMIENTO

4.1. Ejecución del ensayo.— La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de ensayo Los Angeles y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 a 208 rad/s (30 a 33 r.p.m.). Para las granulometrías E, F y G la máquina dará 1000 vueltas; para las granulometrías A, B, C y D, el número de vueltas a dar debe ser de 500. La máquina debe girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante (Nota 4). Una vez dado el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede a una separación preliminar de la muestra ensayada en un tamiz mayor que el 1.6 UNE (A.S.T.M. núm. 12). La fracción fina que pasa se tamiza a continuación empleando el tamiz 1.6 UNE, operando de acuerdo con la norma para análisis granulométrico de áridos gruesos y finos (NLT-150/72). El material más grueso que el tamiz 1.6 UNE se lava (Nota 5), se deseca en estufa a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C hasta peso constante y se pesa con precisión de 5 g, en el caso de las granulometrías E, F y G, o con precisión de 1 g en el caso de las granulometrías A, B, C y D (Nota 5).

Nota 4.— La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de resultados del ensayo que no coinciden con los obtenidos en otra máquina de desgaste Los Angeles con velocidad periférica constante.

Nota 5.— Aunque la muestra sea tamizada correctamente después del ensayo, la atrición durante el lavado es posible origine una reducción de aproximadamente el 0,2 por 100 con respecto al porcentaje de desgaste calculado.

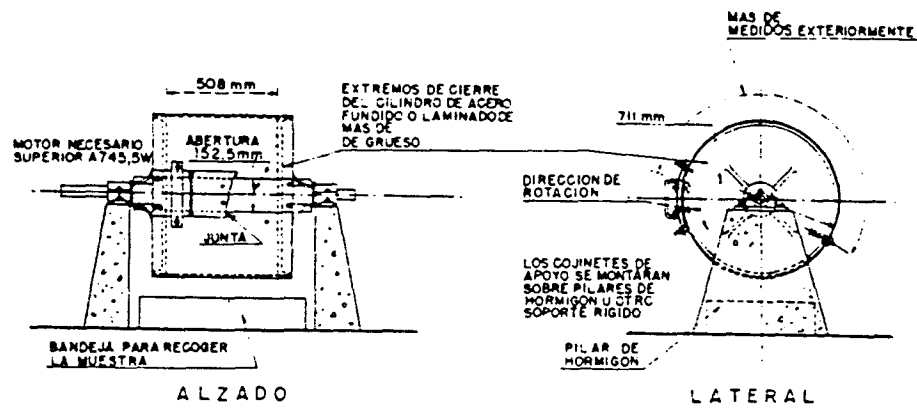
Nota 6.— Se puede obtener una valiosa información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 200 revoluciones para las granulometrías E, F y G o después de 100 revoluciones para las granulometrías A, B, C y D. Al efectuar esta determinación no se debe lavar el material retenido por el tamiz 1,6 UNE (A.S.T.M. núm. 12). La relación de pérdida después de 200 y de 1000 revoluciones (granulometrías E, F y G) o de 100 y de 500 revoluciones (granulometrías A, B, C y D), no debe exceder en más del 0,20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación se procurará evitar toda pérdida de muestra; la muestra total, incluido el polvo que se ha producido por el desgaste, se vuelve a introducir en la máquina hasta completar las 1000 revoluciones (granulometrías E, F y G) o las 500 revoluciones (granulometrías A, B, C y D) requeridas para terminar el ensayo.

5. RESULTADOS

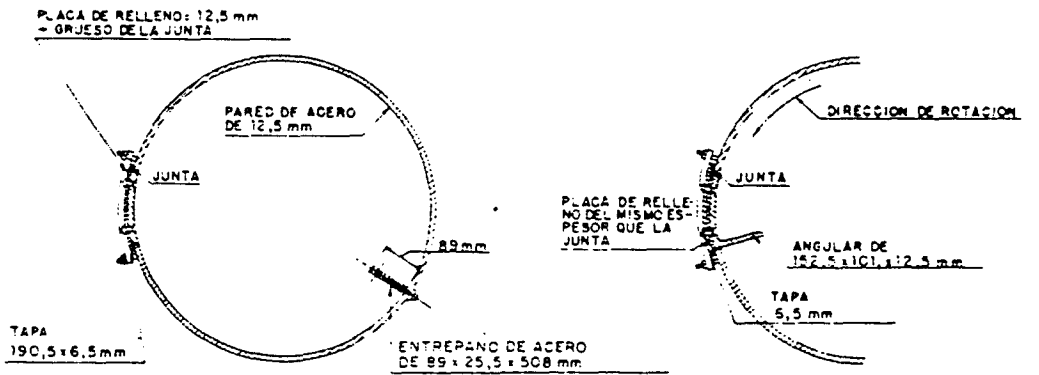
- 5.1. El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original de la muestra y la masa de esta misma muestra al final del ensayo, expresada como tanto por ciento de la masa original.
- 5.2. El resultado del ensayo recibe el nombre de coeficiente de desgaste Los Angeles.

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

- A.S.T.M. C 136-67.
- A.S.T.M. C 535-65.



VISTA DE CONJUNTO



DISPOSICION MAS CONVENIENTE

DISPOSICION DEL ENTREPAÑO EN LA TAPA

COTAS EN MILIMETROS

Fig. 1. — Máquina de Los Angeles.

NLT-150/72***Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos, empleando mallas de abertura cuadrada. El método también puede usarse con placas perforadas de aberturas redondas y cuadradas. No se empleará para el análisis granulométrico de los áridos recuperados de mezclas bituminosas o de fillers minerales.
- 1.2. Mediante este método se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra seca del árido, por separación a través de una serie de tamices o cribas dispuestas sucesivamente de mayor a menor abertura de malla.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Balanza. — La balanza tendrá una sensibilidad del 0,1 por 100 de la masa de la muestra ensayada.
- 2.2. Tamices. — Las mallas o cribas se montarán en bastidores contruidos de tal forma que eviten las pérdidas de material durante el tamizado. Se seleccionará una serie de mallas para obtener la información necesaria de acuerdo con las especificaciones sobre el material que se ensaya. La trama de la malla estará de acuerdo con la Norma UNE 7050 (A.S.T.M. E 11-70) (Nota 1).

Nota 1. — Si se emplean tamices con placas perforadas de agujeros redondos y cuadrados, las aberturas de los mismos estarán de acuerdo con las dimensiones y tolerancias que se prescriben en las Normas para tamices A.S.T.M. E 11-70.

- 2.3. Estufa. — Una estufa capaz de mantener uniforme la temperatura a 110 ± 5 °C.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra.
 - 3.1.1. La muestra de árido para el análisis granulométrico se tomará del material que se va a ensayar, cuarteándola por medio de un

cuarteador (Nota 2). El árido fino se mezclará perfectamente en estado húmedo antes de cuartearlo, para evitar su segregación y la pérdida de finos. La muestra para ensayo debe tener aproximadamente la masa seca necesaria y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. No está permitido reducir la muestra a una masa determinada.

Nota 2. — Para un correcto proceso de cuarteo de las muestras deben seguirse las instrucciones dadas en la norma NLT-148/72.

- 3.1.2. Arido fino. — Las muestras de árido fino para análisis granulométrico deberán tener aproximadamente, después de secadas, las siguientes cantidades:

Arido fino con más del 95 por 100 de material más fino que el tamiz 2.5 UNE (A.S.T.M. núm. 6) 100 g
 Arido fino con más del 90 por 100 de material más fino que el tamiz 5 UNE (A.S.T.M. núm. 4) y más del 5 por 100 de material más grueso que el 2 UNE (A.S.T.M. núm. 10). 500 g

Sin embargo, en ningún caso la fracción retenida en un tamiz al realizar el tamizado tendrá más de 0.6 g/cm² de superficie de tamizado.

Nota 3. — Esto supone unos 200 g para el tamiz normal de 200 mm de diámetro. La cantidad de material retenida en el tamiz crítico se puede regular: a) introduciendo un tamiz con abertura mayor más próxima al crítico, o b) seleccionando adecuadamente el tamaño de la muestra.

- 3.1.3. Arido grueso. — Las muestras de árido grueso para análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener las siguientes cantidades:

| Tamaño máximo de las partículas | | Masa mínima de la muestra |
|---------------------------------|----------|---------------------------|
| mm | pulgadas | kg |
| 10 | (3/8) | 2 |
| 12.5 | (1/2) | 4 |
| 20 | (3/4) | 8 |
| 25 | (1) | 12 |
| 40 | (1 1/2) | 16 |
| 50 | (2) | 20 |
| 63 | (2 1/2) | 25 |
| 80 | (3) | 45 |
| 100 | (3 1/2) | 70 |

Nota 4. — Es recomendable el empleo de mallas montadas en bastidores de 400 mm de diámetro o mayores para su utilización en el ensayo de áridos gruesos.

3.1.4. En el caso de mezclas de áridos finos y gruesos, el material se preparará en dos fracciones por medio del tamiz 5 UNE (A.S.T.M. núm. 4). Las muestras de árido fino y grueso se preparan como se indica en los apartados 3.1.2 y 3.1.3.

3.2. Ejecución del ensayo:

3.2.1. La muestra se seca hasta peso constante a una temperatura que no exceda de 110 ± 5 °C.

3.2.2. Se colocan los tamices en orden decreciente de mayor a menor respecto a la abertura de malla y se pone la muestra sobre el tamiz superior. Se agitan los tamices con la mano o por medio de un tamizador mecánico durante el tiempo necesario, establecido por un ensayo previo realizado con la muestra de ensayo, para cumplir el criterio de tamizado descrito en el apartado 3.2.3.

3.2.3. El tamizado se continúa durante el tiempo necesario y de forma tal que, después de terminado, no pase más del 1 por 100 en peso de la cantidad retenida en cada tamiz, cuando se prosiga el tamizado a mano durante 1 minuto realizándolo como sigue: se coloca individualmente cada tamiz, encajado en la cu'ata y con su tapa, tomándolo con una mano en posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el costado del tamiz con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de unas 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta a cada intervalo de 25 golpes. Se considera satisfactorio el tamizado para tamaños superiores al tamiz 5 UNE (A.S.T.M. núm. 4) cuando el total de las partículas del material en el tamiz formen una sola capa. Si el tamaño de los tamices de ensayo hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilizar tamices de 200 mm de diámetro para comprobar la eficacia del tamizado.

3.2.4. El tamizado en seco es considerado como suficientemente satisfactorio para los ensayos de rutina con áridos de granulometría normal. Sin embargo, cuando sea necesario determinar más exactamente la cantidad de material que pasa el tamiz 0,080 UNE (A.S.T.M. núm. 200), se ensayará primeramente la muestra de acuerdo con la Norma NLT-152/72 ("Material que pasa el tamiz 0,080 UNE en los áridos"). Se añade el porcentaje de material más fino que el tamiz 0,080 UNE, determinado por el citado método, al porcentaje de tamizado por este mismo tamiz determinado en el resto de la misma muestra cuando se ensaye en seco mediante el presente método. Después de la operación final de secado según la Norma NLT-152/72, el tamizado de la muestra seca se realiza como se indica en los apartados 3.2.2 y 3.2.3.

3.2.5. Se determina la masa del material retenido en cada tamiz mediante pesada con una balanza que cumpla lo exigido en el apartado 2.1 con aproximación del 0,1 por 100 de la masa de la muestra.

4. RESULTADOS

- 4.1. Los porcentajes se calcularán sobre la base de la masa total de la muestra, incluido el material más fino que el tamiz 0,080 UNE (A.S.T.M. núm. 200) determinado de acuerdo con la Norma NLT-152/72.
- 4.2. Los resultados incluirán los siguientes datos:
 - 4.2.1. Porcentaje total de material que pasa cada tamiz, ó
 - 4.2.2. Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, ó
 - 4.2.3. Porcentaje de material retenido entre dos tamices consecutivos, según la forma en que se expresen las tolerancias en las especificaciones para el material sometido a ensayo. El resultado de los porcentajes se expresará redondeando al número entero más próximo, excepto para el porcentaje que pase el tamiz 0,080 UNE (A.S.T.M. núm. 200), cuyo resultado será expresado con aproximación del 0,1 por 100.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M. C 136-71.
UNE 7139.

NLT-151/72***Análisis granulométrico del filler mineral*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del análisis granulométrico de los fillers minerales empleados como materiales para la construcción de carreteras.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Balanza. — La balanza tendrá una sensibilidad de 0,05 g.
- 2.2. Tamices. — Los tamices cumplirán los requisitos de la norma UNE 7050 (A.S.T.M. E 11-70). Se empleará el tamiz 0,080 UNE (A.S.T.M. núm. 200) y aquellos otros que exijan las especificaciones para el análisis de filler. En general, las especificaciones suelen exigir los tamices 0,63, 0,16 y 0,080 UNE (A.S.T.M. núms. 30, 100 y 200).

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra.
 - 3.1.1. La muestra para análisis granulométrico se obtiene del material que se va a ensayar por medio de cuarteo realizado a mano o mediante un cuarteador, partiendo de una muestra representativa del material previamente elegida. Para cada ensayo se requiere, aproximadamente, 50 g del material seco.
 - 3.1.2. La muestra se seca a una temperatura que no exceda de 110 °C, hasta obtener prácticamente un peso constante.
- 3.2. Ejecución del ensayo.
 - 3.2.1. Se pesa con precisión de 0,1 g, $50,0 \pm 5,0$ g de la muestra de filler después de desecada y se coloca sobre el tamiz 0,080 UNE (A.S.T.M. núm. 200), el cual se habrá limpiado y secado bien previamente. El tamiz, con la culata y la tapa puesta, se mantiene con una mano en una posición ligeramente inclinada, de manera que la muestra se distribuya bien sobre el tamiz, y al mismo tiempo se sacude ligeramente su costado unas 150 veces por minuto contra la palma de la otra mano. Se da un sexto de vuelta al tamiz cada 25 golpes, siempre en la misma dirección. La operación se

continúa hasta que no pasan a través del tamiz después de un minuto de tamizado continuo más de 0.05 g.

- 3.2.2. La fracción de muestra retenida en el tamiz se pesa entonces con precisión de 0,1 g y se coloca sobre el tamiz inmediato superior con abertura mayor. Se continúa el tamizado de manera similar, usando sucesivamente cada uno de los tamices elegidos con abertura mayor, anotando el peso de la fracción de muestra retenida en cada uno de ellos. El peso del material y el tanto por ciento de muestra que pasa cada tamiz se calcula a partir de estos datos.
- 3.2.3. No deben emplearse sobre los tamices perdigonos ni ningún otro dispositivo para ayudar al tamizado.
- 3.2.4. Se pueden emplear tamizadoras mecánicas, pero no se rechazará el filler si cumple los requisitos cuando se ensaya a mano por el método descrito en el apartado 3.2. Cuando se realiza el tamizado mecánicamente, el final de la operación se comprueba empleando el método de mano.

4. RESULTADOS

- 4.1. Los resultados del análisis granulométrico se expresarán en tanto por ciento total que pasa por tamiz con aproximación del 0.5 por 100.
- 4.2. Se indicará el método de tamizado empleado.
- 4.3. Los porcentajes obtenidos por el mismo operador en ensayos duplicados para la misma fracción de la muestra no diferirán en más del 1 por 100 para cualquier tamiz. Los tantos por ciento obtenidos por diferentes operadores en diferentes laboratorios no diferirán en más del 2 por 100 para un determinado tamiz.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M. D 546-68.

NLT-153/76***Densidad relativa y absorción de áridos gruesos*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de las densidades relativas aparentes y real, así como la absorción después de 24 horas sumergidos en agua, de los áridos con tamaño igual o mayor a 5 mm.

2. DEFINICIONES

- 2.1. Volúmenes aparente y real.— En un sólido permeable, si incluimos en su volumen la parte de huecos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, definimos un volumen denominado "aparente", mientras que si excluimos este volumen de huecos, el volumen resultante lo denominamos "real".
- 2.2. Densidades relativas aparente y real.— En estos materiales, se define la densidad relativa aparente como la relación entre la masa al aire del sólido y la masa de agua correspondiente a su volumen aparente, y densidad relativa real a la relación entre la masa al aire del sólido y la masa de agua correspondiente a su volumen real.

3. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 3.1. Balanzas.— Para las pesadas de los áridos se utilizarán balanzas con capacidades igual o superior a 5000 g, según el tamaño máximo de la muestra para ensayo (Tabla I), exactitud del 0,1 por ciento y sensibilidad de 0,5 g para pesadas hasta 5000 g, ó 0,0001 veces la masa de la muestra, para pesadas superiores.
- 3.2. Cestos metálicos.— Como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas, se dispondrá de dos tipos de cestos metálicos, de aproximadamente igual base y altura y fabricados con bastidores de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3 mm. Para áridos con tamaño máximo inferior a 38 mm se utilizarán cestos con capacidades desde 4 a 7 dm³ y para tamaños superiores cestos con capacidades desde 8 a 16 dm³.
- 3.3. Dispositivo de suspensión.— Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender los cestos, una vez sumergidos, de la balanza.

4. PREPARACION DE LA MUESTRA

- 4.1. Se comienza por mezclar completamente los áridos, cuarteando a continuación hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 5 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la Tabla I, en función del tamaño máximo nominal del árido.

| Tamaño máximo nominal, mm | Cantidad mínima de muestra, kg |
|---------------------------|--------------------------------|
| hasta 12,5 | 2 |
| 20 | 3 |
| 25 | 4 |
| 40 | 5 |
| 50 | 8 |
| 63 | 12 |
| 75 | 18 |
| 90 | 25 |

- 4.2. Si se desea, se puede fraccionar la muestra para ensayo y ensayar separadamente cada una de las fracciones; si la muestra contiene más de un 15 por ciento retenido en el tamiz 40 UNE (ASTM: 1 1/2"), se separará entonces siempre por este tamiz en, al menos, dos fracciones.

Cuando se fracciona la muestra, las cantidades mínimas para ensayo de cada fracción se ajustarán, según su tamaño máximo particular, a lo indicado en la Tabla I.

5. PROCEDIMIENTO

- 5.1. La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas, se seca a continuación en estufa a 100 – 110 °C y se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta pesada constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 ± 4 horas.

Nota 1. — Cuando se vayan a utilizar los valores de la absorción y densidades relativas en hormigones hidráulicos, con áridos normalmente empleados en estado húmedo, se puede prescindir del secado hasta pesada constante. Además, si los áridos se han mantenido con su superficie continuamente mojada hasta el ensayo, puede también suprimirse las 24 horas de inmersión en agua. Los valores obtenidos para la absorción y la densidad relativa aparente con áridos en el estado de saturado superficie seca, pueden ser significativamente más altos si antes de mojarlos se ha omitido el secado previo en estufa indicado en el apartado 5.1., por lo que deberá consignarse en los resultados cualquier alteración que se introduzca en la marcha general.

- 5.2. Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta

que se ha eliminado el agua visible superficial, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los áridos. A continuación se determina la masa de la muestra en el estado de saturada superficie seca (s.s.s.). Estas y todas las pesadas subsiguientes se realizarán con una aproximación de 0,5 g para pesadas hasta 5000 g y de 0,0001 veces la masa de la muestra para pesadas superiores.

- 5.3. A continuación se coloca la muestra en el interior del cesto metálico y se determina su masa sumergida en el agua, a temperatura entre 21 y 25 °C y una densidad de $0,997 \pm 0,002 \text{ g/cm}^3$. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida agitando convenientemente.

Nota 2.— El cesto y la muestra deberán quedar completamente sumergidos durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.

- 5.4. Se deseca entonces la muestra en estufa a 100 – 110 °C, se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su masa seca hasta pesada constante.

6. RESULTADOS

6.1. Llamando:

A = masa al aire de la muestra desecada, en gramos.

B = masa al aire de la muestra saturada superficie seca, en gramos.

C = masa sumergida en agua de la muestra saturada, en gramos.

Se calculan las densidades relativas aparente, saturada superficie seca y real, así como la absorción, por las siguientes expresiones:

$$6.1.1. \text{ Densidad relativa aparente} = \frac{A}{B - C}$$

$$6.1.2. \text{ Densidad relativa aparente (saturada superficie seca ó s.s.s.)} = \frac{B}{B - C}$$

$$6.1.3. \text{ Densidad relativa real} = \frac{A}{A - C}$$

$$6.1.4. \text{ Absorción, en } \% = \frac{B - A}{B} \times 100$$

6.1.5. Se expresarán siempre las temperaturas a las que se hayan realizado las medidas.

- 6.2. Cuando se divide la muestra total para ensayo en fracciones más pequeñas tal como se indica en el apartado 4.2., se ensayarán por separado cada una de las fracciones, calculándose sus respectivas densidades relativas y absorción a partir de las expresiones 6.1.

Para obtener el verdadero valor, tanto de la densidad relativa como de la absorción, correspondiente a la mezcla total (n fracciones), se aplican las expresiones:

$$D = \frac{1}{\frac{M_1}{100 \cdot D_1} + \frac{M_2}{100 \cdot D_2} + \dots + \frac{M_n}{100 \cdot D_n}}$$

$$A = \frac{M_1 \cdot A_1}{100} + \frac{M_2 \cdot A_2}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot A_n}{100}$$

siendo:

M_1, M_2, \dots, M_n = porcentajes respectivos de la masa de cada fracción presentes en la masa total.

D_1, D_2, \dots, D_n = densidades relativas (aparente, saturada superficie seca o real, la que se esté calculando) de cada fracción presente en la masa total.

A_1, A_2, \dots, A_n = porcentajes de absorción de cada fracción presentes en la masa total.

D = verdadero valor de la densidad aparente correspondiente (aparente, saturada superficie seca o real) de la mezcla total.

A = verdadero valor del porcentaje de absorción de la mezcla total.

7. PRECISION

7.1. Se puede seguir el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados con un 95 por ciento de probabilidad.

7.1.1. Los ensayos por duplicado realizados en un mismo laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren en más de las siguientes cantidades:

para las densidades relativas: 0.01
para la absorción: 0.13

7.1.2. Los ensayos realizados en un mismo Laboratorio sobre una misma muestra, se considerarán satisfactorios si no difieren de su valor medio en más de las siguientes cantidades.

para las densidades relativas: ± 0.01
para la absorción: ± 0.09

Nota 3.— Para muestras diferentes aun con idéntico origen, los límites de precisión pueden ser superiores.

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M. C 127 - 73

AASHTO T 85 - 74

NLT - 159/73***Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.
- 1.2. El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los contenidos de huecos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente las densidades relativas de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes (NLT-153, 154, 155, 167 y 168).
- 1.3. Este procedimiento se aplica a mezclas bituminosas en las que el aglomerante sea betún asfáltico o alquitrán y con áridos cuyo tamaño máximo sea de 25 mm. El método puede aplicarse también a mezclas bituminosas de fabricación en frío, para lo cual habrá de tenerse en cuenta los períodos y condiciones de curado, antes de la compactación y rotura de las probetas.
- 1.4. Por medio del ensayo Marshall se puede determinar el contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos de una composición y granulometría determinadas, ensayando series de probetas con diferentes proporciones de ligante.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Conjunto de compactación.—Estará formado por el molde, el collar y la placa de base, fabricados de acero cadmiado y con la forma y dimensiones indicadas en la figura 1. Para facilitar su manejo es conveniente que el molde esté provisto de un asa.
- 2.2. Extractor.—Para sacar la probeta del molde una vez compactada se sustituye la placa de base por un disco extractor de acero, de diámetro comprendido entre 100 y 101 mm y unos 15 mm de espesor, utilizando

cualquier dispositivo que fuerce suavemente a pasar la probeta del molde al collar.

- 2.3. Maza de compactación.— Para compactar las probetas se emplea un dispositivo de acero formado por una base plana y circular de 98,4 mm de diámetro y un pisón de 4.536 g, montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de 457,2 mm. La forma y dimensiones serán las de la figura 2.
- 2.4. Base de compactación.— Consistirá en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 200 mm de lado y 450 mm de altura, y provista en su cara superior de una placa cuadrada de acero de 300 mm de lado y 25 mm de espesor, firmemente sujeta en la misma. La madera será de roble, pino u otro tipo cuya densidad seca esté comprendida entre 670 y 770 kg/m³. El conjunto se fijará firmemente a una base de hormigón, debiendo quedar la placa de acero horizontal.
- 2.5. Soporte del molde.— Se utilizará cualquier dispositivo que permita fijar rigidamente y centrar sobre la base de compactación el conjunto del molde, collar y placa de base, durante la fabricación de las probetas.
- 2.6. Mordaza y medidor de deformación (figs. 3 y 4).— La mordaza consistirá en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50,8 mm y perfectamente mecanizados en su superficie interior. El segmento inferior, que terminará en una base plana, irá provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior. El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable. El medidor de deformación consistirá en un comparador, de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.
- 2.7. Prensa.— Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50,8 mm por minuto.
- 2.8. Medidor de la estabilidad.— La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2.000 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (500 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 kN. Las deformaciones del anillo se medirán con un comparador graduado en 0.001 mm.

Nota 1.— En lugar de medir la estabilidad con un anillo dinamométrico se puede emplear cualquier otro dispositivo de medida de carga que cumpla los requisitos de sensibilidad indicados anteriormente.
- 2.9. Elementos de calefacción.— Para calentar los áridos, material bituminoso, conjunto de compactación y maza, se empleará una estufa o placa de calefacción provistas de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C.
- 2.10. Mezcladora.— Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura

requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales este proceso se realizará sobre una placa de calefacción o mechero de gas, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

- 2.11. Baño de agua.—Para sumergir y calentar las probetas se dispondrá de un baño de agua con una profundidad mínima de 150 mm y provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura de 60 °C con una precisión de ± 1 °C. El baño irá provisto de un falso fondo perforado para mantener las probetas a 50 mm de su fondo.
- 2.12. Termómetros.—Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0,2 °C.
- 2.13. Balanzas.—Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para preparación de las mezclas.
- 2.14. Material general.—Bandejas, cazos, espátulas, guantes de amianto y de goma, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Preparación de las probetas.

- 3.1.1. Número de probetas.—Se prepara un mínimo de tres probetas para cada contenido de ligante.
- 3.1.2. Preparación de los áridos.—Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.
- 3.1.3. Temperaturas de mezcla y compactación.—Para la mezcla y compactación de las probetas, el betún empleado se calentará a una temperatura tal que su viscosidad en el proceso de mezcla sea 170 ± 20 cSt (85 ± 10 SSF) y en el de compactación 280 ± 30 cSt (140 ± 15 SSF). Si se emplea alquitrán, las viscosidades respectivas serán de 25 ± 3 grados Engler para la mezcla y 40 ± 5 grados Engler para la compactación.
- 3.1.4. Preparación de las mezclas.—Se pesan sucesivamente en un cazo tarado las cantidades de áridos de cada fracción necesarias para la fabricación de cada probeta, de tal manera que la probeta resultante tenga una altura de $63,5 \pm 1,27$ mm (nota 2). Se calientan los áridos en la estufa o sobre la placa de calefacción a una temperatura de unos 30 °C superior a la determinada para la mezcla según el apartado 3.1.3. Se vierten entonces los áridos en el recipiente para mezcla y se efectúa una mezcla en seco de los mismos; se forma a continuación un cráter en su centro y se añade la cantidad necesaria de ligante, debiendo estar ambos

materiales en este instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla en el apartado 3.1.3. Seguidamente se mezclan completamente los áridos y el ligante, preferiblemente en una mezcladora mecánica, o a mano con espátula si no se dispone de ella. En cualquier caso, este proceso se realizará lo más rápidamente posible hasta conseguir una mezcla completa y homogénea.

Nota 2. — Para conseguir esta altura puede realizarse una probeta de prueba con una cantidad de áridos de unos 1.200 g, corrigiéndose posteriormente la altura obtenida con la expresión:

$$\text{Cantidad correcta de áridos} = \frac{63,5 \times \text{cantidad de árido empleado}}{\text{altura de la probeta de prueba}}$$

Nota 3. — El ligante no deberá mantenerse a su temperatura de mezcla durante más de 1 hora.

- 3.1.5. Compactación de las mezclas. — Previamente a la preparación de la mezcla, el conjunto del collar, molde y placa de base, así como la base de la maza de compactación, se limpian y calientan a una temperatura entre 95 y 150 °C.

Se monta el conjunto de compactación en la base de compactación y se sujeta rigidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro del diámetro del molde en su fondo y se echa el total de la mezcla recién fabricada, evitando las segregaciones de material; se ayuda la distribución de la mezcla con una espátula apropiada y caliente, por medio de 15 golpes en la periferia y 10 en su interior; finalmente se alisa la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada.

La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar comprendida entre los límites establecidos para este proceso en el apartado 3.1.3 (nota 4). A continuación se le aplican con la maza el número de golpes especificado sobre una cara de la probeta, e inmediatamente se desmonta el collar, se invierte el molde y, fijado de nuevo el conjunto de compactación, se aplica igual número de golpes a la otra cara de la probeta.

Terminada la compactación, se sustituye la placa de base por el disco extractor y se fuerza suavemente a la probeta a pasar desde el molde al collar, con el mecanismo de extracción. Se extrae así la probeta, que se colocará cuidadosamente sobre una superficie plana, dejándola enfriar durante toda la noche a temperatura ambiente (nota 5).

Nota 4. — Cuando el ensayo se realice con mezclas anteriormente fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa, a una temperatura unos 30 °C inferior a la especificada para la mezcla, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones pre-

cisas para la fabricación de cada probeta. Estas porciones se calientan entonces a la temperatura especificada para la compactación durante 1 hora, realizándose a continuación el proceso de compactación de la forma general. Cuando las probetas se fabriquen con mezclas tomadas en obra, el proceso general de compactación será el mismo que se describe en esta norma, cuidando igualmente que las temperaturas de compactación sean las adecuadas al tipo de ligante empleado. No debe emplearse una mezcla que haya sido recalentada más de una vez.

Nota 5.—Si por falta de cohesión se estropean las probetas al desmoldarlas en caliente, se dejarán enfriar en los moldes hasta que puedan ser desmoldadas sin deterioros. Puede utilizarse un ventilador para acelerar el enfriamiento.

3.1.6. Densidad y análisis de huecos.—La densidad relativa de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente. La norma NLT-168 describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la densidad relativa de las probetas, así como el análisis de los distintos contenidos de huecos de la mezcla compactada.

3.2. Ejecución del ensayo.

3.2.1. Antes de romperlas, las probetas se calientan a la temperatura de 60 ± 1 °C. Para este calentamiento las probetas pueden sumergirse en el baño de agua de 30 a 40 minutos o mantenerlas en estufa durante 2 horas como mínimo. Se limpian completamente las superficies interiores de las mordazas y sus varillas de guía, engrasando éstas para favorecer el deslizamiento de la mordaza superior. Durante el ensayo, las mordazas deben estar a una temperatura comprendida entre 20 y 40 °C, empleando un baño de agua si fuera necesario.

3.2.2. Una vez cumplido el período de calentamiento, se saca la probeta y se coloca centrada sobre el segmento inferior de la mordaza, se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. A continuación se ajusta a cero el comparador, estando el extremo de su vástago apoyado sobre la palanca ajustable de la mordaza inferior.

3.2.3. Se aplica entonces la carga a la probeta, a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm por minuto, hasta que se produce su rotura, definida por la carga máxima obtenida; este valor se define como estabilidad Marshall de la probeta. En este instante se inmoviliza, actuando sobre la palanca, el desplazamiento del vástago del comparador; la lectura indicada se define como deformación Marshall y expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura (carga máxima). El tiempo transcurrido desde que se saca la

probeta del baño o estufa hasta la rotura de la misma no debe ser superior a 30 segundos.

Nota 6. — Para probetas fabricadas en obra y testigos extraídos de un pavimento que no cumplan los requisitos de altura indicados en el apartado 3.1.4, los valores de estabilidad obtenidos se corregirán por medio de la tabla que se incluye al final de esta norma, multiplicándolos por el factor correspondiente, después de medir su altura o volumen con precisión.

4. RESULTADOS

- 4.1. Los resultados incluirán los siguientes datos para cada probeta ensayada:
- Tipo y proporción de ligante.
 - Altura o volumen de la probeta.
 - Estabilidad en N.
 - Deformación en mm.
 - Temperaturas de mezcla y compactación.
- 4.2. Además de los datos indicados en el apartado 4.1, es conveniente conocer la procedencia de la mezcla (laboratorio, obra o testigo), si es recién fabricada o recalentada, así como la densidad relativa de la probeta, cuando sea necesario conocer los contenidos de huecos de la mezcla compactada.

5. DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE LIGANTE

- 5.1. Cuando se utilice el método Marshall para la determinación del contenido óptimo de ligante para una mezcla de áridos de una composición y granulometría determinadas, se prepararán series de probetas con contenidos crecientes de ligante, realizando tantas series como sean necesarias para que, al menos, se tengan dos contenidos de ligante por encima y otros dos por debajo del óptimo, siguiendo el procedimiento de fabricación y ensayo descrito en esta norma.
- 5.2. Con los valores medios de la estabilidad, deformación, densidad relativa y diferentes contenidos de huecos, se dibujarán para cada porcentaje de ligante los siguientes gráficos:

| | |
|-----------------------|--------------|
| Estabilidad | % de ligante |
| Deformación | % de ligante |
| Densidad relativa | % de ligante |
| % de huecos en mezcla | % de ligante |
| % de huecos rellenos | % de ligante |
| % de huecos en áridos | % de ligante |

- 5.3. Por medio de estas curvas, y de acuerdo con los criterios basados en las especificaciones correspondientes, se determina el contenido óptimo de ligante.

TABLA PARA LA CORRECCION DE LA ESTABILIDAD

| Volumen de la muestra en cm ³ | Espesor aproximado de la muestra en mm | Factor de corrección |
|--|--|-------------------------|
| 200-213 | 25,4 | 5,56 |
| 214-225 | 26,9 | 5,00 |
| 226-237 | 28,6 | 4,55 |
| 238-250 | 30,2 | 4,17 |
| 251-264 | 31,8 | 3,85 |
| 265-276 | 33,3 | 3,57 |
| 277-289 | 34,9 | 3,33 |
| 290-301 | 36,5 | 3,03 |
| 302-316 | 38,1 | 2,78 |
| 317-328 | 39,7 | 2,50 |
| 329-340 | 41,3 | 2,27 |
| 341-353 | 42,9 | 2,08 |
| 354-367 | 44,5 | 1,92 |
| 368-379 | 46,0 | 1,79 |
| 380-392 | 47,6 | 1,67 |
| 393-405 | 49,2 | 1,56 |
| 406-420 | 50,8 | 1,47 |
| 421-431 | 52,4 | 1,39 |
| 432-443 | 54,0 | 1,32 |
| 444-456 | 55,6 | 1,25 |
| 457-470 | 57,2 | 1,19 |
| 471-482 | 58,7 | 1,14 |
| 483-495 | 60,3 | 1,09 |
| 496-508 | 61,9 | 1,04 |
| 509-522 | 63,5 | 1,00 |
| 523-535 | 65,1 | 0,96 |
| 536-546 | 66,7 | 0,93 |
| 547-559 | 68,3 | 0,89 |
| 560-573 | 69,9 | 0,86 |
| 574-585 | 71,5 | 0,83 |
| 586-598 | 73,0 | 0,81 |
| 599-610 | 74,6 | 0,78 |
| 611-625 | 76,2 | 0,76 |

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

A.S.T.M. D 1559-71.

The Asphalt Institute, Manual Series N.º 2, 1969.

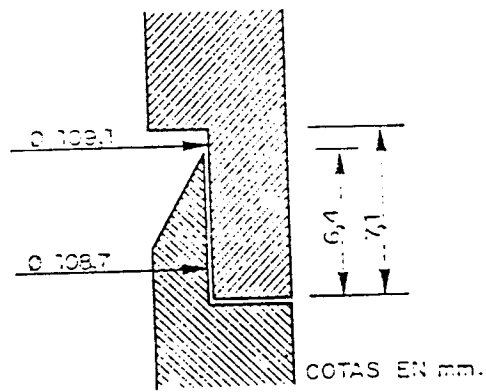
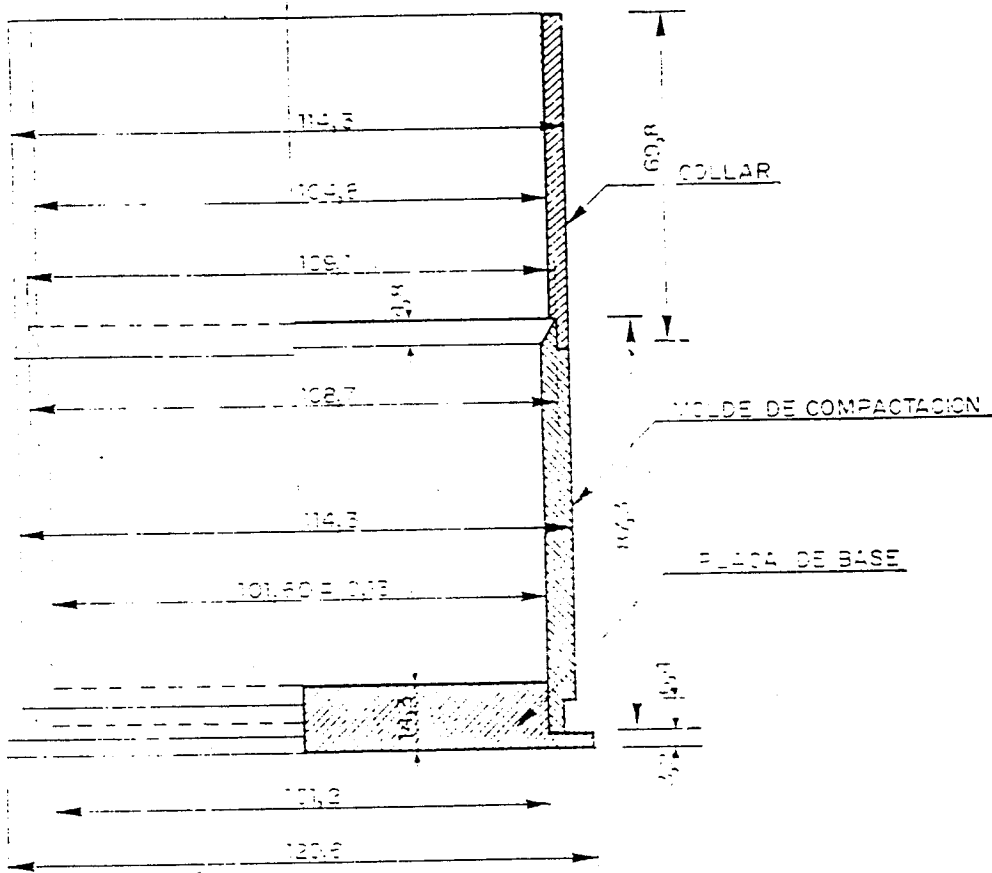


Fig. 1. — Conjunto de compactación.

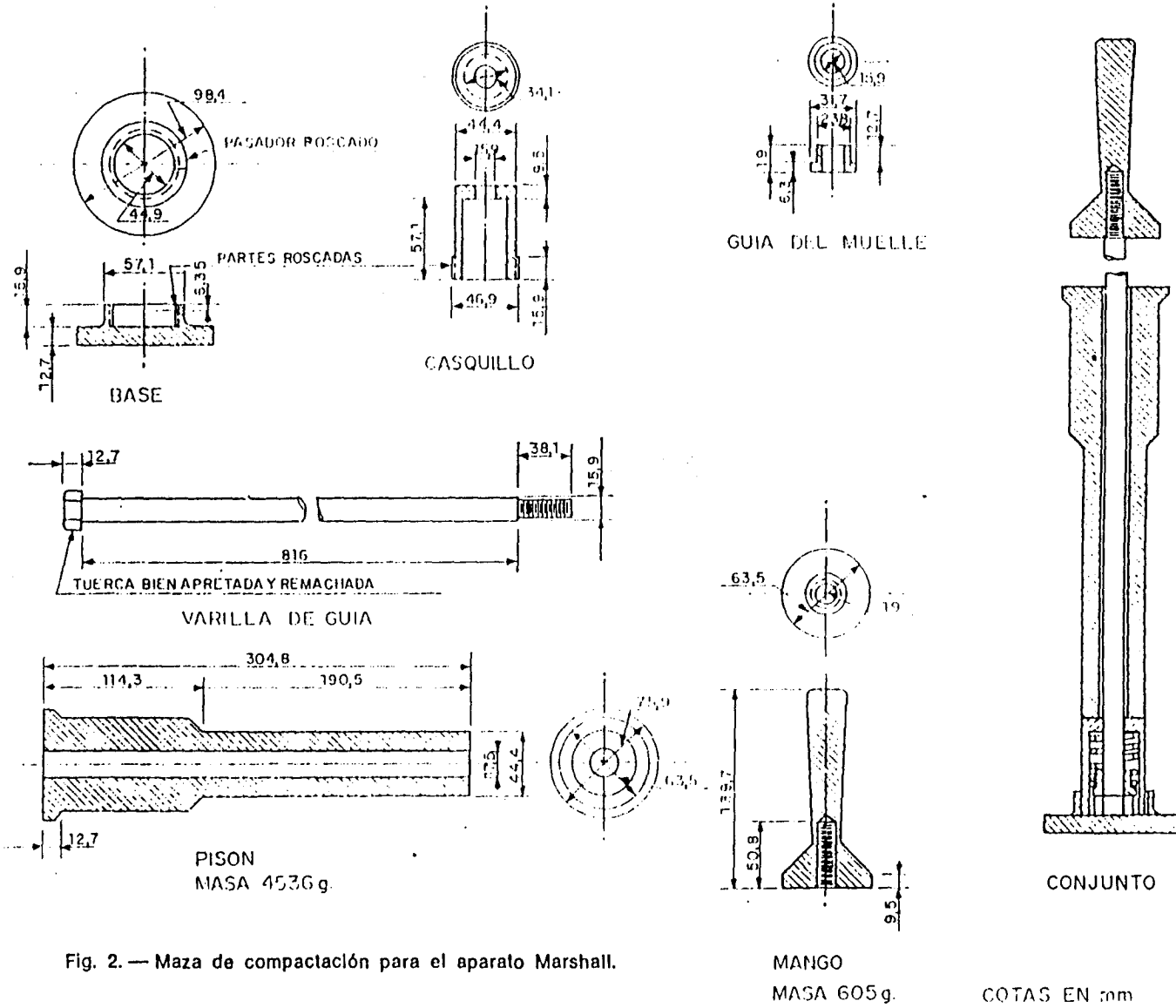
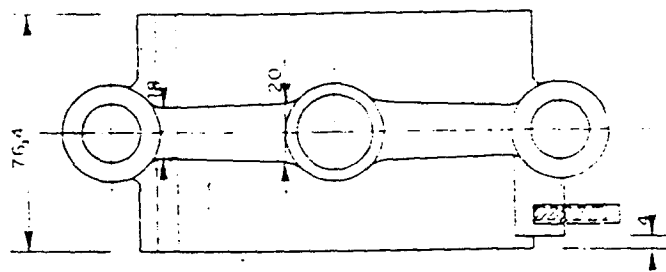
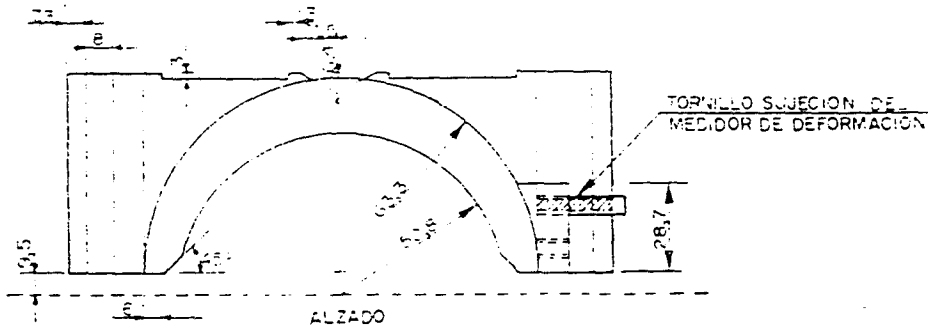


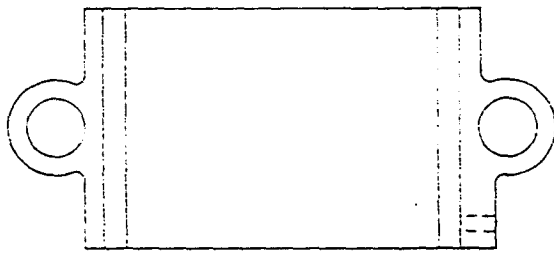
Fig. 2. — Maza de compactación para el aparato Marshall.



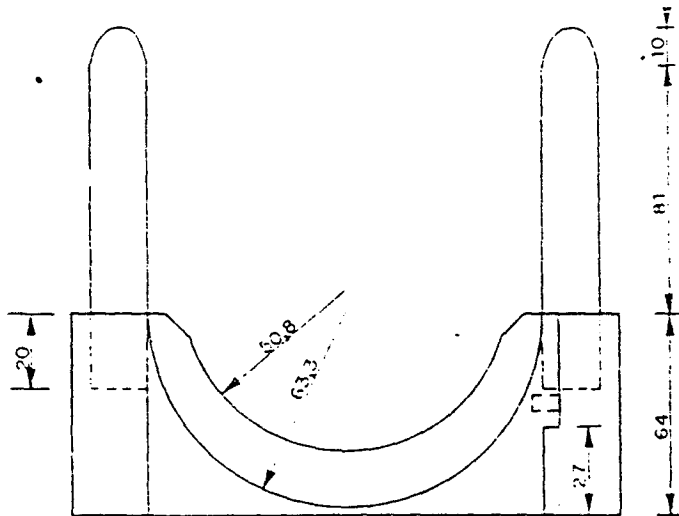
PLANTA



ALZADO
MORDAZA DE ROTURA SUPERIOR



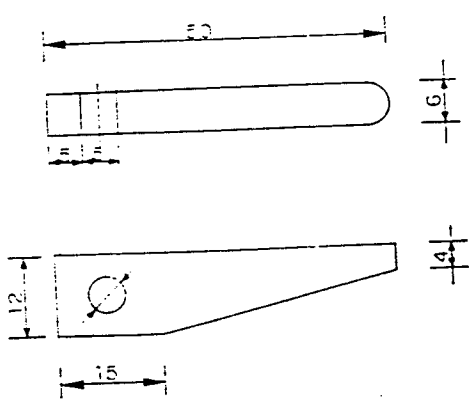
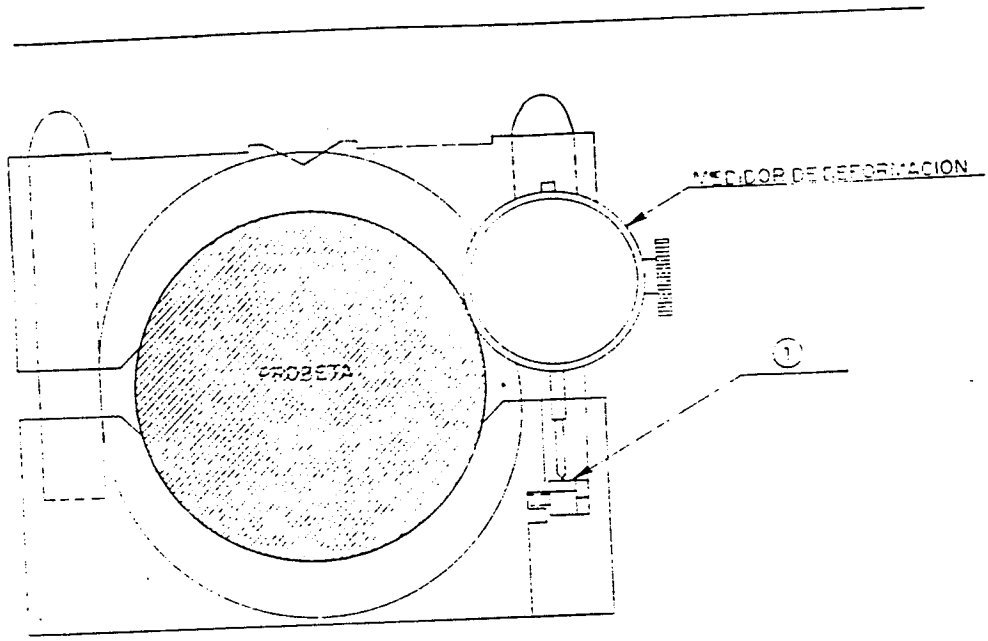
PLANTA



ALZADO
MORDAZA DE ROTURA INFERIOR

COTAS EN mm

Fig. 3. — Mordazas.



COTAS EN mm

① PALANCA DEL MEDIDOR DE DEFORMACION

Fig. 4. — Dispositivo de ensayo de la probeta y mordazas.

Acción del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas
(Ensayo de inmersión-compresión)

NLT-162/63

1. OBJETO

- 1.1. Este método se emplea para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas bituminosas compactadas que contienen betunes de penetración.
- 1.2. En el ensayo se obtiene un índice numérico de la pérdida producida al comparar la resistencia a compresión simple de las probetas recién hechas y curadas con la resistencia a compresión simple de probetas duplicadas que se han sometido a la acción del agua en las condiciones que se prescriben en el método.
- 1.3. Mediante este método es posible valorar el comportamiento de las mezclas asfálticas a la acción del agua y cómo le afectan cada uno de los ingredientes que intervienen en la mezcla.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. *Moldes y pistones.*—Tres moldes para fabricar probetas cilíndricas de 101,6 mm. (4") de diámetro interno y 177,8 mm (7") de altura y dos pistones, superior e inferior, para realizar la compactación de la probeta por el sistema de doble émbolo, de acuerdo con la forma y dimensiones de la figura 1.
- 2.2. *Soportes.*—Dos soportes para mantener transitoriamente el molde a 25,4 mm. (1") por encima de la base de sustentación del pistón inferior.
- 2.3. *Prensa.*—Una prensa de suficiente capacidad (20 T.) provista de dispositivo para controlar con precisión la deformación a una velocidad de 1,27 mm./minuto (0,05"/minuto) por cada 25,4 mm. (1") de altura de las probetas, lo que representa para probetas de 101,6 mm. (4") una velocidad de 5,08 mm./minuto (0,2"/minuto). La prensa deberá tener dos placas de apoyo de acero, la inferior fija y la superior con asiento esférico, coincidiendo el centro de la superficie esférica con el centro de la placa. La parte móvil quedará firmemente acoplada en su asiento, pero podrá girar libremente y balancearse ligeros ángulos de una forma suave y en cualquier dirección.
Para ensayos de campo, la prensa puede ser de diseño más sencillo y con menos requisitos.
- 2.4. *Dispositivo para la extracción.*—Un dispositivo para poder sacar las

probetas compactadas del molde, de los cuales un tipo apropiado es el representado en la figura 2.

- 2.5. *Embudo*.—Un embudo de la forma y dimensiones del representado en la figura 3
- 2.6. *Estufa*.—Una estufa con regulación termostática capaz de mantener temperaturas comprendidas entre la ambiente y 163° C.
- 2.7. *Placa de calefacción*.—Una placa pequeña de calefacción eléctrica para mantener la temperatura de los áridos y del material bituminoso durante el proceso de mezcla.
- 2.8. *Baño de agua*.—Un baño de agua con la capacidad suficiente para que quepan sumergidos los tres moldes y los pisonos, provisto de un elemento calefactor de suficiente potencia para mantener el agua a una temperatura próxima a la de ebullición.
- 2.9. *Baño de aire*.—Un baño de aire o estufa con control automático o manual, donde poder mantener las probetas a $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$. inmediatamente antes de realizar el ensayo de compresión.
- 2.10. *Balanza*.—Una balanza con un mínimo de capacidad de 2 kg., una sensibilidad de 0,1 gr., provista de dispositivo hidrostático.
- 2.11. *Mezcladora mecánica*.—Se recomienda el empleo de una mezcladora mecánica para realizar la mezcla de los áridos y del material bituminoso. La mezcladora será del tipo más conveniente para obtener una mezcla completa y homogénea, sin segregaciones, en menos de dos minutos.
Su diseño será de tal forma que no se producirán obstrucciones de las paletas y será posible mantener la temperatura necesaria durante todo el proceso.
Se puede realizar la mezcla a mano, pero para las mezclas en caliente el tiempo necesario para lograr una envuelta satisfactoria es normalmente excesivo y los resultados del ensayo son menos uniformes.
- 2.12. *Baño de agua con control termostático*.—Un baño de agua provisto de control termostático de la temperatura, capaz de regularla con precisión de $\pm 1^\circ \text{C}$. y con capacidad suficiente para mantener las probetas totalmente sumergidas, estando apoyadas sobre una bandeja, separada del fondo del recipiente. El material empleado será inatacable, y el agua para llenar el baño será o destilada o libre de electrólitos, y deberá renovarse a cada serie de ensayos.
- 2.13. *Placas o bandejas*.—Unas placas de vidrio o bandejas de metal para colocar las probetas durante el periodo de inmersión y manejo posterior.
- 2.14. *Material diverso*.—Recipientes para los áridos y material bituminoso, cogedores, espátulas flexibles, espátulas rígidas, guantes de amianto, lápiz de marcar, etc.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Tamaño, forma y número de las probetas.

- 3.1.1. Las probetas serán de forma cilíndrica, de 101,6 mm. de altura y 101,6 mm. de diámetro (4" \times 4").

- 3.1.2. Se fabricarán por lo menos seis probetas para cada variación en proporción o calidad de los ingredientes de la mezcla.
- 3.2. Preparación de las mezclas.
 - 3.2.1. La cantidad de mezcla necesaria para la fabricación de cada probeta se preparará individualmente.
 - 3.2.2. Se mezclará una amasada inicial con objeto de manchar el recipiente y las paletas de la mezcladora. Después de sacar la mezcla se limpian el recipiente y las paletas, rascando con una espátula pequeña, flexible, sin emplear trapos ni disolventes. Este mismo procedimiento será el que se siga empleando después de cada amasada, mientras se trabaje con la misma dosificación de áridos y no cambie el tipo de material bituminoso.
 - 3.2.3. Con esta amasada inicial se moldeará una probeta de prueba, a fin de determinar el peso del material necesario para obtener la altura correcta de las probetas.
 - 3.2.4. Al preparar los áridos que se van a emplear se hará un análisis granulométrico de cada uno de ellos. De cada uno de los áridos se pesará la cantidad precisa por separado, tomando esta cantidad por cuarteo si se observara la posibilidad de que se produzcan segregaciones o de no ser la fracción que se pesa suficientemente representativa. Las cantidades pesadas de cada árido se mezclan en seco, y entonces se calientan en la estufa a $163 \pm 3^\circ \text{C}$.
 - 3.2.5. La cantidad de material bituminoso necesaria para cada amasada se calienta por separado en un recipiente a $163 \pm 3^\circ \text{C}$., en el caso de betunes, y a $107 \pm 3^\circ \text{C}$. en el caso de alquitranes. El recipiente no estará en ningún momento en contacto directo ni con la llama ni con la placa eléctrica si no es del tipo con protección. Durante el calentamiento se agitará constantemente el material bituminoso. También podrá usarse el sistema de calentar todo el material bituminoso necesario para el trabajo de una jornada en un recipiente en el que no se produzcan sobrecalentamientos locales e ir tomando de él la cantidad necesaria para cada amasada. En este caso, todo el material que quede al final de la jornada será desechado.
 - 3.2.7. Cuando se tengan los áridos y el material bituminoso a las temperaturas indicadas, se echan en el recipiente de mezcla los áridos. Se tara el conjunto y a continuación se echa y pesa la cantidad necesaria de betún, comenzando inmediatamente la mezcla, la cual no debe durar ni menos de uno y medio ni más de dos minutos.
 - 3.2.8. Si se produce una pérdida excesiva de calor durante estas operaciones, se empleará una pequeña placa eléctrica, un baño de arena o una lámpara de rayos infrarrojos para calentar por la parte inferior el recipiente de la mezcladora. Si se emplea la placa eléctrica no se pondrá en contacto directo con el recipiente.
- 3.3. Preparación y cura de las probetas.

- 3.3.1. Las mezclas preparadas en el laboratorio se dejarán enfriar hasta la temperatura de moldeo lo más pronto posible después de la mezcla. Las mezclas tomadas en obra se calentarán a la temperatura de moldeo por medio de un calentamiento uniforme y cuidadoso inmediatamente antes de proceder a su compactación. Hay que tener en cuenta que las mezclas recalentadas pueden dar valores de la resistencia a compresión simple mayores que los de las mezclas moldeadas inmediatamente después de mezcladas.
- 3.3.2. La temperatura de moldeo será de $124 \pm 3^\circ \text{C}$. Considerando como tal la que tiene la mezcla en el momento de comenzar a aplicar la presión.
- 3.3.3. Se calientan los moldes y los pisones sumergiéndolos en el baño de agua, mantenido a una temperatura ligeramente inferior a la de ebullición.
- 3.3.4. Se secan los moldes y se engrasan sus caras interiores por medio de un trapo manchado ligeramente en aceite. Se coloca entonces el molde cilíndrico sobre el pisón inferior, manteniéndolo apoyado en los soportes.
- 3.3.5. Tan pronto como la mezcla ha alcanzado la temperatura indicada, se echa aproximadamente la mitad en el molde y se distribuye por medio de 25 golpes con una espátula caliente, aplicando los 15 primeros en la periferia para evitar la formación de coqueas en contacto con las paredes del molde y los diez restantes al azar sobre el centro. Se echa entonces rápidamente la otra mitad y se aplican de forma similar otros 25 golpes con la espátula. La espátula debe penetrar el mayor espesor posible. Parece que es ventajoso el empleo de una espátula de hoja con forma ligeramente curva. A la parte superior se le da una forma ligeramente redondeada o cónica para conseguir que el pisón superior quede bien asentado.
- 3.3.6. Una vez colocado el pisón superior y con los soportes manteniendo todavía el molde, se aplica una carga inicial de $10,5 \text{ kg/cm}^2$ con objeto de acomodar la mezcla contra las paredes del molde. Esta carga unitaria supone 850 kg. de carga total para la superficie total de la probeta de 101,6 mm. de diámetro ($31,2 \text{ cm}^2$).
- 3.3.7. Se retiran entonces los soportes que mantenían el molde y se comienza el verdadero apisonado por el sistema de doble émbolo aplicando una carga de 210 kg/cm^2 , es decir, una carga total de 17.000 kg. para las probetas de 101,6 mm. de diámetro, la que, una vez alcanzada, se mantiene constante durante dos minutos.
- 3.3.8. Después de dejar enfriar ligeramente la probeta dentro del molde, se extrae, colocando debajo el dispositivo de extracción y aplicando una ligera carga a la parte superior por medio del pisón, de manera que la probeta se deslice de una manera suave y uniforme.
- 3.3.9. Una vez fuera las probetas, se curan durante veinticuatro horas en una estufa a 60°C .
- 3.3.10. Después del período de cura se mantienen las probetas en un

baño de aire o estufa a 25° C. durante cinco horas como mínimo antes de ensayarlas a compresión simple.

- 3.3.11. En el caso de que después del periodo de cura haya que dejar las probetas más de veinticuatro horas antes de ensayarlas, se protegerán de la exposición al aire metiéndolas en un recipiente herméticamente cerrado.
- 3.4. Determinación de la densidad aparente de las probetas.
- 3.4.1. Se determina la densidad aparente de cada probeta por el siguiente procedimiento:
- 3.4.2. Después de curadas se dejan enfriar durante dos horas como mínimo y se determina el peso en seco de cada probeta (A).
- 3.4.3. A continuación se las sumerge en agua durante un minuto y se seca rápidamente la superficie con una toalla humedecida, determinando el peso de la probeta superficie seca en el aire (B).
- 3.4.4. Sin demora se determina el peso de la probeta sumergida en agua (C).
- 3.4.5. La densidad aparente de cada probeta se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A}{B - C}$$

- 3.5. Inmersión y rotura de las probetas.
- 3.5.1. Se divide cada lote de seis probetas en dos grupos, de manera que la densidad media de cada uno sea prácticamente la misma, y que los valores extremos estén representados en los dos grupos.
- 3.5.2. Grupo 1.—Uno de los grupos se pasa a un baño de aire o estufa a 25° C. durante un periodo mínimo de tiempo de cinco horas.
- 3.5.3. Inmediatamente de sacar las del baño de aire se rompen a compresión axial sin soporte lateral con una velocidad uniforme de 5,08 mm/minuto, anotando la lectura de la carga vertical máxima que soporta cada una de las tres probetas del grupo.
- 3.5.4. Grupo 2.—Las tres probetas de este grupo se sumergen en agua a $49 \pm 1^\circ \text{C}$. durante cuatro días. Al final de este periodo se pasan a otro baño a $25 \pm 1^\circ \text{C}$. durante dos horas, e inmediatamente de ir las sacando del baño se rompen a compresión, como se indica en el párrafo 2.5.3.
- 3.5.5. Grupo 2.—(Procedimiento alternativo): Se sumergen las probetas en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ \text{C}$. durante veinticuatro horas. Se pasan después al baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$. durante dos horas e inmediatamente se van rompiendo a compresión simple, como se indica en el párrafo 2.5.3.

4. RESULTADOS

4.1. Cálculo.

- 4.1.1. Se calcula la media de la resistencia a compresión simple de cada grupo de probetas.
- 4.2.2. Con estos valores medios se calcula el índice de resistencia conservada por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de resistencia conservada: } \frac{R_2}{R_1} \times 100$$

Donde:

- R_1 = resistencia a compresión de las probetas no sumergidas (Grupo 1).
 R_2 = resistencia a compresión de las probetas sumergidas (Grupo 2).

4.2. Expresión de los resultados.

- 4.2.1. En los resultados se expresan los siguientes datos:
 - a) Índice de resistencia conservada.
 - b) Condiciones de inmersión.
 - c) Composición de la mezcla.
 - d) Densidad aparente de las probetas.
- 4.2.2. Los resultados del índice de resistencia conservada se dan con una aproximación del 1,0 %.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM Designación. D 1075-54
AASHO » T 165-55

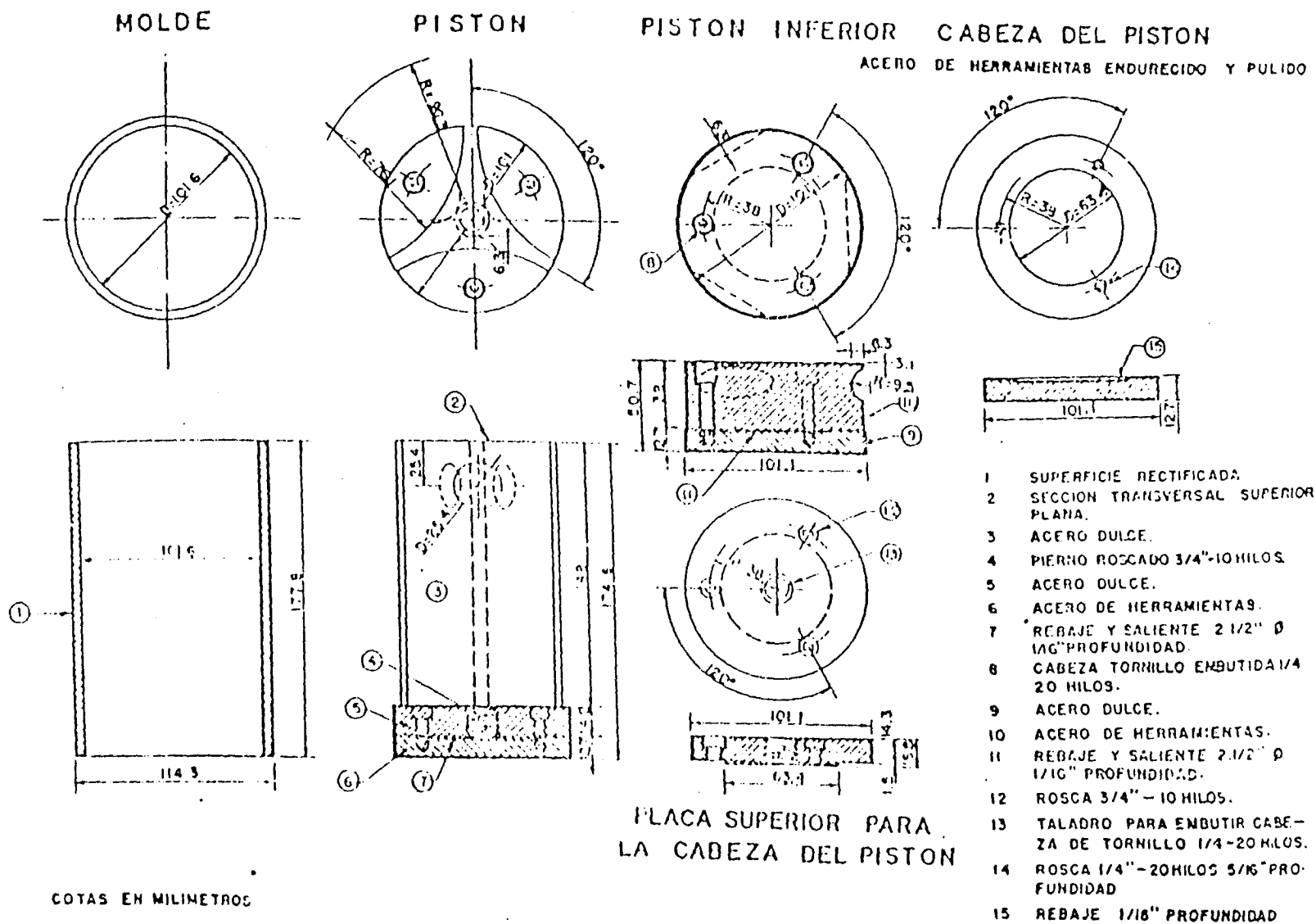
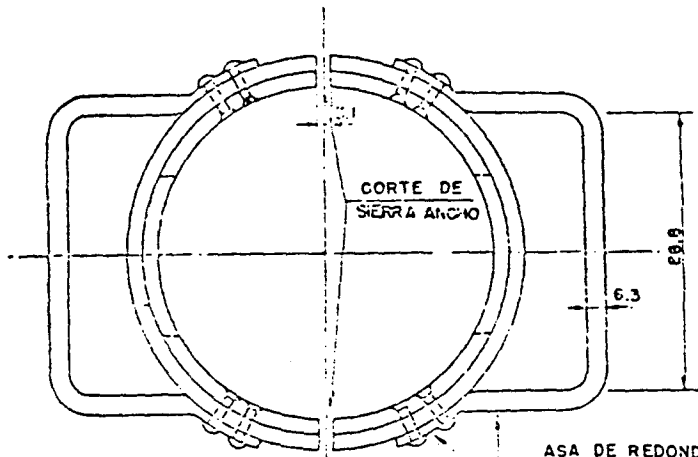
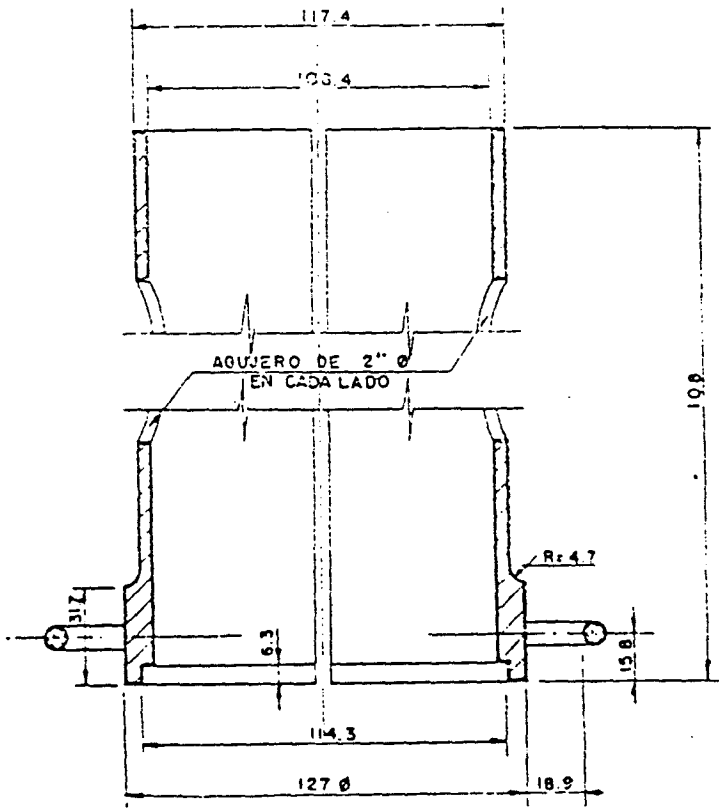


Figura 1



ASA DE REDONDO DE ACERO DE 63x63 CON SUS EXTREMOS APLANADOS Y REMACHADOS COMO SE INDICA.

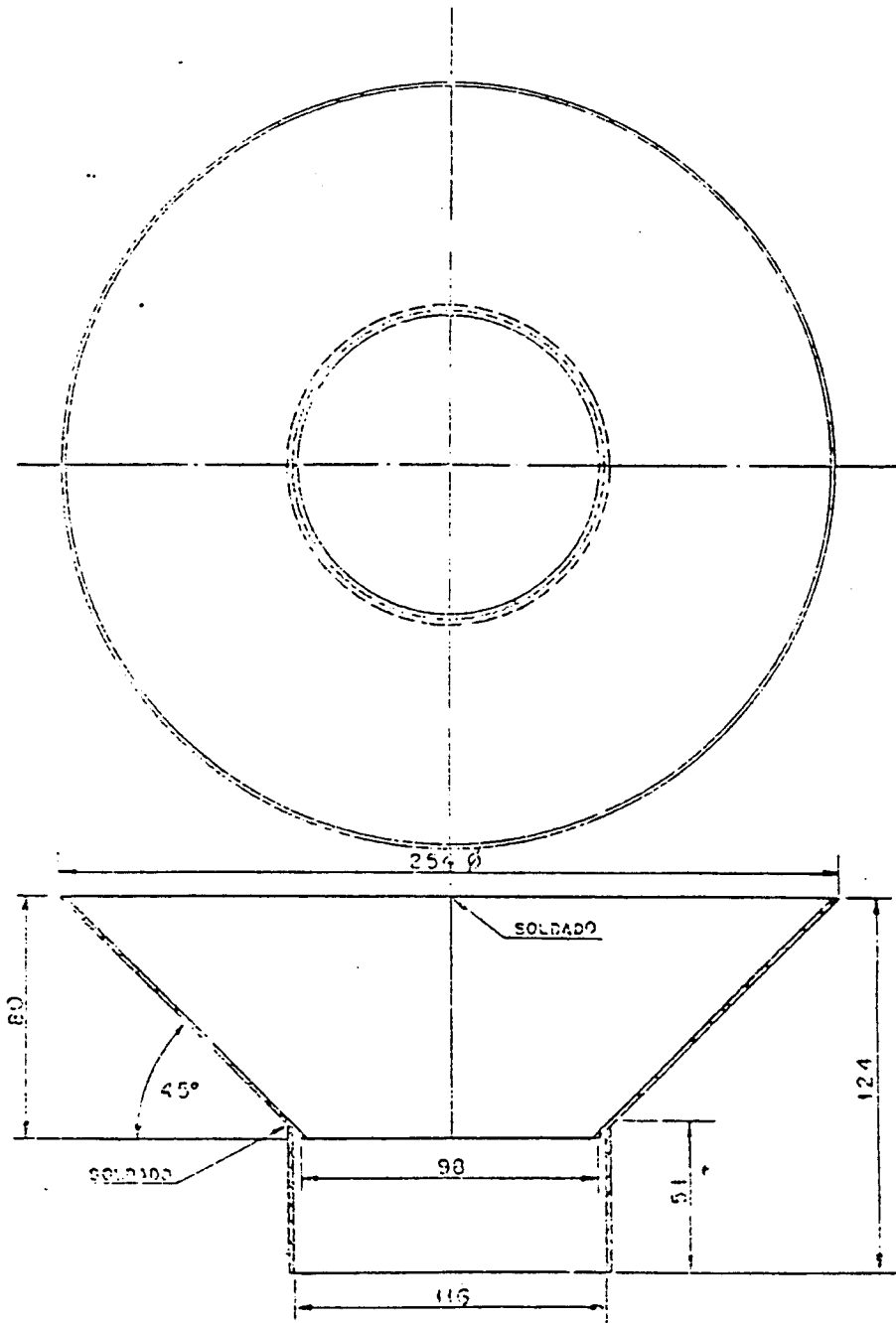


EL MATERIAL PARA EL EXTRACTOR PUEDE SER TUBERIA DE 115 MM. DE TIPO EXTRADURO —

COTAS EN MILIMETROS

EXTRACTOR
Figura 2

EMBUDO PARA LLENAR LOS MOLDES



CHAPA DE HIERRO GALVA 22"

COTAS EN MILIMETROS

Figura 3

NLT-164/76***Contenido de ligante de mezclas bituminosas*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación cuantitativa del contenido de ligante en las mezclas bituminosas.
- 1.2. El ensayo consiste en el tratamiento en frío de la mezcla con un disolvente del ligante, separando mediante el empleo de un aparato de extracción la solución de los áridos. El contenido de ligante se calcula por diferencia entre la masa inicial de mezcla y la masa final de los áridos, aplicando las correcciones adecuadas por humedad y cenizas. En los áridos recuperados puede realizarse el análisis granulométrico, siguiendo el procedimiento descrito en la norma NLT-165/76.
- 1.3. En las mezclas que lleven como ligante betún asfáltico, aunque por definición se llama betún el material soluble en sulfuro de carbono, se recomienda por razones de seguridad el empleo de otros disolventes, como el benceno, tricloroetileno ó 1.1.1.- tricloroetano. En las mezclas que utilicen alquitrán, se seguirá el método operatorio explicado en el Apartado 6 al final de esta norma.
- 1.4. Esta norma no es adecuada para la determinación del material volátil que pueda existir en la mezcla, ni tampoco cuando se pretenda recuperar el ligante para identificar sus características.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Estufa.— De dimensiones adecuadas y capaz de regular su temperatura hasta unos 125°C aproximadamente.
- 2.2. Bandejas.— Planas, de unos 30 cm de largo, 20 cm de anchura y 2,5 cm de profundidad.
- 2.3. Balanza.— De 5000 g de capacidad y una exactitud de 0,2 g.
- 2.4. Balanza analítica.
- 2.5. Probetas graduadas, de 1000 y 2000 cm³ de capacidad.
- 2.6. Cápsulas de porcelana, de 125 cm³ de capacidad.
- 2.7. Desecadores.
- 2.8. Baño maría.
- 2.9. Aparato de extracción del tipo cubeta.— Consiste en un recipiente de aluminio con la forma y dimensiones de la Fig. 1, el cual debe poder girar a velocidades crecientes hasta un máximo de unos 366 rad/s (3500 rpm). El aparato llevará una carcasa cerrada exterior para la recogida del disolvente

y un tubo de salida para su eliminación. El funcionamiento podrá ser manual o eléctrico, debiendo en este caso ser el motor del tipo a prueba contra explosiones.

Para colocarlos entre el recipiente y su tapa, se dispondrá de papeles de filtro en forma de anillo, de dimensiones y porosidad adecuadas.

Es conveniente montar el conjunto bajo una campana o vitrina con ventilación forzada, para la rápida eliminación de los vapores de los disolventes.

- 2.10. Extractor centrífugo SMM.— Este aparato (nota 1), cuyo esquema simplificado se incluye en la Fig. 2, consta esencialmente de un embudo soporte de las dimensiones apropiadas, en el que se alojan uno o varios tamices, el inferior de los cuales debe ser siempre un tamiz 0,080UNE (ASTM Núm. 200). En la parte inferior de este embudo, una llave de paso permite regular el caudal de la disolución juntamente con el filler, sobre un vaso de centrífuga, Fig. 3, construido generalmente de aluminio y capaz de girar a una velocidad angular de 995 rad/s (9500 rpm). Cubriendo el vaso de centrífuga una tapa o carcasa de forma anular permite la recogida y salida de la disolución. El aparato suele ir provisto de una tubería flexible para expulsión de vapores, si bien es igualmente recomendable trabajar bajo campana con buena aspiración.

Nota 1.— Este modelo de aparato, denominado "Centrífuga de Extracción SMM", sistema Rodei y Derungs, está fabricado por la casa "Spindel-, Motoren - u. Maschinenfabrik A. - G", en Uster, Suiza.

- 2.11. Carbonato amónico.— Una solución saturada de carbonato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, químicamente puro.
- 2.12. Benceno.— Químicamente puro, (nota 2).
- 2.13. Tricloroetano 1.1.1.— Químicamente puro, (nota 2).
- 2.14. Tricloroetileno.— Químicamente puro, (nota 2).

Nota 2.— Debido a su toxicidad, estos disolventes deberán ser utilizados siempre en zonas provistas de una buena ventilación. Como norma general para su empleo, las concentraciones máximas aceptables son:

Concentración máxima para
una exposición de 8 horas, ppm

| | |
|-----------------------|-----|
| Benceno | 25 |
| Tricloroetileno | 200 |
| 1.1.1.— tricloroetano | 500 |

3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- 3.1. Si la muestra no está lo suficientemente blanda para ser disgregada con la espátula, se calienta sobre una bandeja en la estufa a una temperatura que no exceda de unos 115°C y durante el tiempo mínimo para que pueda ser manipulada con facilidad. Esta disgregación se realizará manualmente y con el suficiente cuidado para evitar la rotura de las partículas minerales, hasta obtener muestras para ensayo que sean lo más representativas posibles del total de la mezcla.

Las cantidades de muestras representativas utilizadas para el ensayo de

extracción se determinarán de acuerdo con el tamaño máximo del árido y según la tabla siguiente:

| <u>Tamaño máximo nominal, mm</u> | <u>Masa mínima de muestra, kg</u> |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | 0,5 |
| 10 | 1 |
| 12 | 1,5 |
| 19 | 2 |
| 25 | 3 |
| 37 | 4 |

3.2. Determinación de agua.— Del material a ensayar, se tomarán 500 g para determinación del contenido de agua, siguiendo el método NLT-123/72 y empleando la retorta metálica.

4. PROCEDIMIENTO

4.1. Método empleando el aparato de extracción tipo cubeta.

- 4.1.1. Se pesa en el interior de la cubeta una cantidad de muestra que no exceda de 1500 g (nota 3), se añade el disolvente hasta cubrirla y se deja en reposo como máximo 1 hora para que se vaya desintegrando el material. Se monta entonces la cubeta con su contenido en el aparato de extracción, se cubre con un anillo de papel de filtro seco y tarado y se coloca y aprieta la tapa. Finalmente, se pone un vaso en el tubo de salida para la recogida de la disolución.
- 4.1.2. Se comienza la centrifugación, primero lentamente y luego aumentando poco a poco el número de revoluciones hasta llegar a una velocidad angular máxima de 366 rad/s (3500 rpm), o hasta que deje de salir disolución. Se deja parar la centrífuga y se añaden 200 cm³ de disolvente limpio, realizando de nuevo la centrifugación y repitiendo este proceso como mínimo 3 veces, hasta que finalmente salga el disolvente limpio o con un ligero color pajizo. Se recogen todas las disoluciones extraídas.
- 4.1.3. Se desmonta la tapa y se quita el papel de filtro, que se dejará secar primero al aire, quitándole a continuación la mayor parte de la materia mineral adherida, que se añadirá a la de la cubeta, secándolo luego en la estufa a 100 – 105 °C hasta pesada constante. Durante el manejo de este papel de filtro se deberá tener mucho cuidado para evitar pérdidas de material, sobre todo al manipularlo cuando ya está seco.
- 4.1.4. La materia mineral que contiene la cubeta se pasa completamente a una cápsula apropiada que se evapora a sequedad, primero en un baño maría y a continuación en la estufa a 100 – 105 °C hasta pesada constante.
- 4.1.5. Se recoge el total de disolución extraída midiendo su volumen con una probeta graduada, se agita perfectamente para homogeneizarlo y se toman unos 100 cm³ perfectamente medidos, que se pasan a una cápsula de porcelana previamente tarada. Se evapora primero a

sequedad en el baño maría y se calcina seguidamente al rojo sombra (500–600°C); una vez fría la cápsula se le añaden 5 cm³ de solución saturada de carbonato amónico por gramo de cenizas, se deja en digestión 1 hora a temperatura ambiente, se seca en la estufa a 100°C, se enfría en un desecador y se pesa hasta pesada constante.

Nota 3.— Pueden utilizarse aparatos similares de mayor tamaño que admiten, por consiguiente, una mayor cantidad de muestra.

4.2. Método empleando el extractor centrífugo SMM

- 4.2.1. La cantidad de muestra que debe emplearse con este método en cada extracción viene limitada, fundamentalmente, por la cantidad máxima de filler que puede retener el vaso de centrífuga y que, en el modelo aquí descrito, no debe exceder a unos 50 g aproximadamente por lo que, si la muestra representativa tiene una cantidad superior de este material, deberá fraccionarse convenientemente.
- 4.2.2. El material a ensayar se pesa en un recipiente que puede ser metálico o de vidrio, limpio, seco y previamente tarado, añadiendo luego el disolvente hasta cubrir la muestra y removiendo y agitando frecuentemente con una espátula hasta su disgregación.
- 4.2.3. Se monta en el embudo la serie de tamices y en el cuerpo de la centrífuga el vaso para filler, cerrando la tapa o carcasa para la recogida del disolvente y poniendo seguidamente en marcha la centrífuga.
- 4.2.4. Alcanzado el régimen normal de revoluciones, se agita el recipiente con la muestra y se va vertiendo el líquido sobre el embudo, regulando con la llave de paso el caudal que llega al vaso de filler. Una vez pasada toda la disolución, se añade al recipiente de la muestra una nueva porción de disolvente limpio, agitando y volviendo a pasar de nuevo la disolución como anteriormente; esta operación se repite hasta que la disolución extraída salga incolora o muy ligeramente teñida.
- 4.2.5. A continuación se levanta la tapa de la centrífuga dejándola aún en funcionamiento algunos minutos para favorecer la evaporación del disolvente; una vez parada, se saca el vaso con el filler, secándolo en una estufa a 100 – 105 °C y pesándolo una vez frío hasta pesada constante. Debe cuidarse el manejo del vaso de filler, a fin de evitar pérdidas de material durante su manipulación.
- 4.2.6. En general, si el ensayo se realiza correctamente todo el filler deberá quedar retenido en las paredes del vaso, pero si por alguna causa se sospecha que no haya sido así, el procedimiento más rápido y eficaz de comprobarlo consiste en pasar de nuevo por la centrífuga la disolución extraída empleando un segundo vaso. Como causas principales del escape de filler se pueden citar un paso de la disolución excesivamente rápido, un exceso de filler y el empleo de vasos defectuosos (nota 4).
- 4.2.7. La materia mineral retenida en los tamices se junta con la del recipiente original y se seca en la estufa a 100 – 105°C, pesándola

una vez fría hasta pesada constante.

Nota 4.— Los vasos para filler deberán ser manejados con el mayor cuidado si se desea un funcionamiento satisfactorio de los mismos. Deberán evitarse, fundamentalmente, los golpes o su limpieza empleando cualquier instrumento metálico, que pueden deteriorar o arañar su superficie interior.

5. RESULTADOS

5.1. El contenido de betún asfáltico se calcula a partir de las siguientes expresiones:

a) en porcentaje sobre mezcla total:

$$\% \text{ betún asfáltico} = \frac{(A - B) - (C + D + E)}{A - B}$$

b) en porcentaje sobre el total de áridos:

$$\% \text{ betún asfáltico} = \frac{(A - B) - (C + D + E)}{C + D + E}$$

siendo:

A = masa de la muestra ensayada.

B = masa de agua que contiene la mezcla.

C = masa de materia mineral

D = masa de cenizas (si se han determinado)

E = aumento de masa del anillo del papel de filtro o del vaso, según el método empleado.

6. DETERMINACION DE ALQUITRAN

6.1. En las mezclas bituminosas que lleven alquitrán como aglomerante, se seguirá para su determinación el procedimiento descrito en el Apartado 4.1., con las siguientes modificaciones:

6.1.1. Se emplea como disolvente creosota fluida libre de cristales, dejando la muestra con el disolvente durante 1 hora en estufa o placa de calefacción a 116 °C.

6.1.2. Se continúa con el procedimiento indicado en los Apartados 4.1.1. y 4.1.2., con la variación de realizar solamente 2 adiciones de 200 cm³ cada una de creosota previamente calentada a 116 °C. Después de eliminar la última porción de creosota, se deja enfriar el recipiente de la centrífuga y su contenido hasta que alcancen una temperatura bastante inferior al punto de ebullición del benceno (80 °C), añadiendo entonces sucesivamente a la muestra 3 porciones de 200 cm³ cada una de benceno, siguiendo el procedimiento general de extracción.

6.1.3. A continuación se procede siguiendo el método general descrito en los Apartados 4.1.3., 4.1.4. y 4.1.5., pero cuidando siempre de evaporar el benceno previamente en baño maría.

6.1.4. Se calcula el porcentaje de alquitrán a partir de las expresiones dadas en el Apartado 5.

7. PRECISION

7.1. A partir de un número suficiente de determinaciones (nota 5) pueden tomarse como límites para juzgar la aceptabilidad de los resultados con un 95 por ciento de probabilidad, los siguientes:

7.1.1. Repetición.— Ensayos duplicados realizados por un mismo operador podrán considerarse sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Desviación típica, % 0,12
Contenido de betún, % 0,34

7.1.2. Reproducción.— Ensayos efectuados por diferentes Laboratorios podrán considerarse sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Desviación típica, % 0,20
Contenido de betún, % 0,56

Nota 5.— En mezclas homogéneas, puede ser suficiente con 10 determinaciones.

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 2172 - 72

AASHTD T 164 - 74

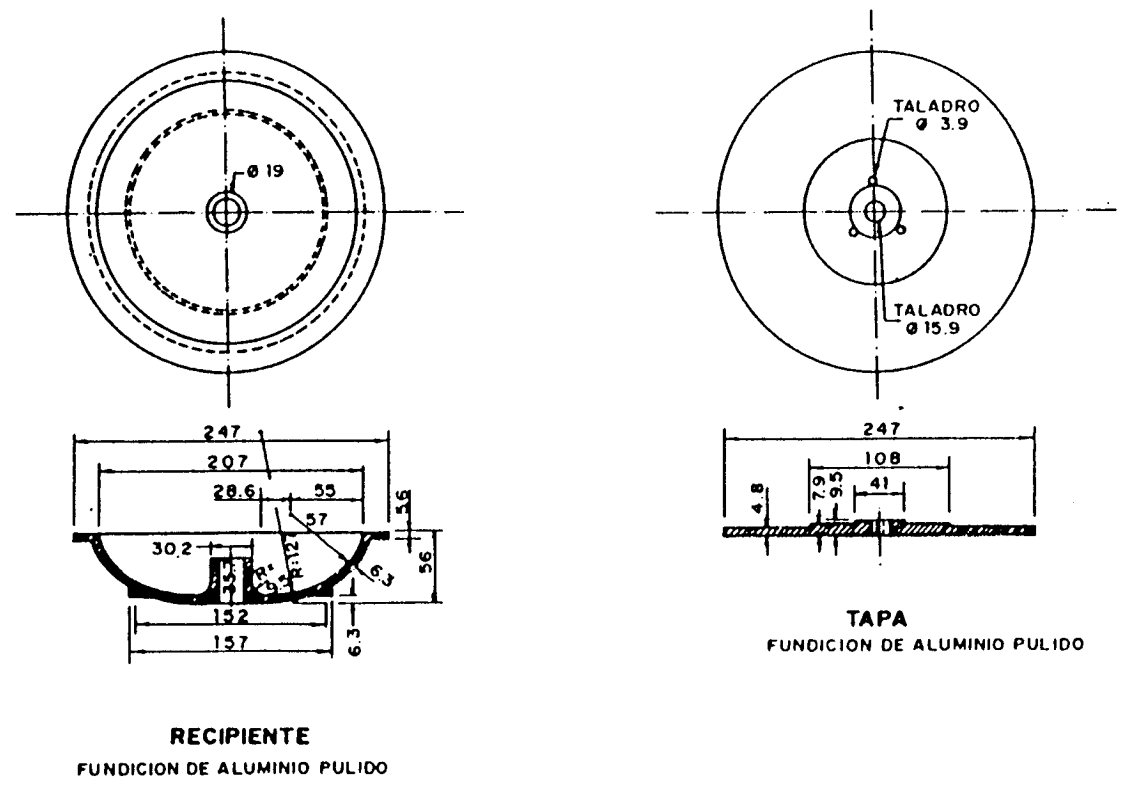


Fig. 1

COTAS EN mm

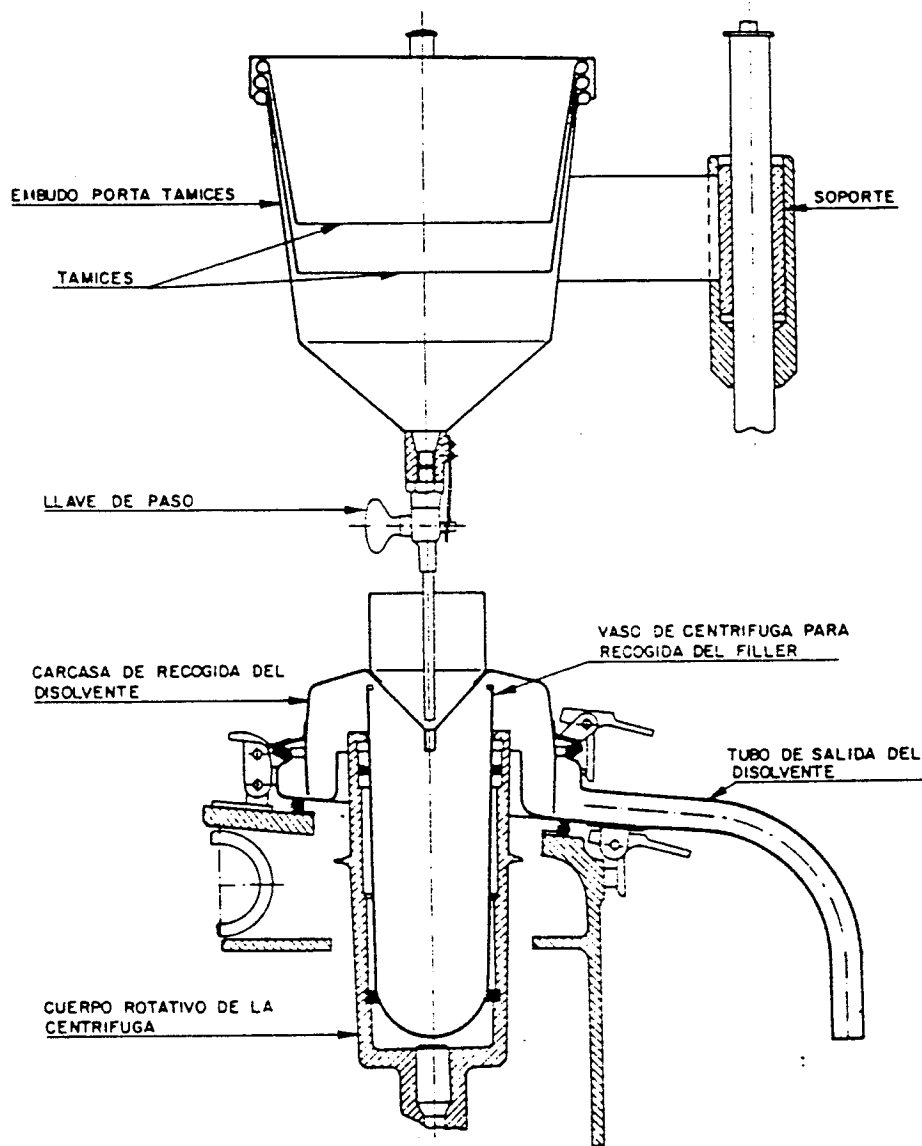


FIG. 2 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL EXTRACTOR CENTRIFUGO SMM

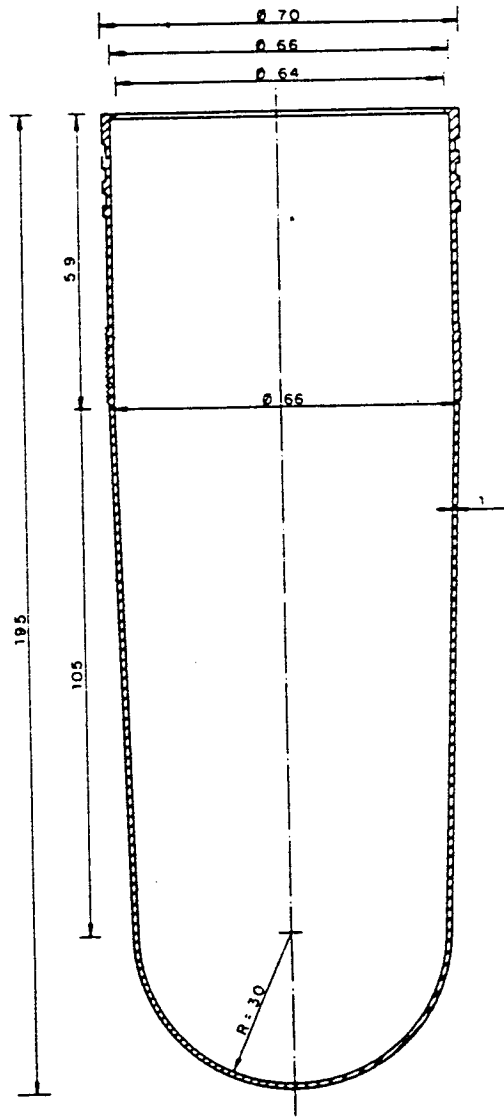


FIG. 3

VASO DE CENTRIFUGA

COTAS EN mm

Análisis granulométrico de los áridos extraídos de una mezcla asfáltica

NLT-165/63

1. OBJETO

- 1.1. Este método recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos extraídos de mezclas asfálticas, empleando tamices con mallas de abertura cuadradas. El método se puede también emplear cuando los tamices vayan provistos de placas perforadas con aberturas redondas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Balanza.—Una balanza con una sensibilidad del 0.1 % del peso de la muestra que se está ensayando.
- 2.2. Tamices.—Tamices con mallas de abertura cuadrada montados de forma que no se produzcan pérdidas de material durante la operación de tamizado.

Los tamices que se empleen cumplirán la Norma ASTM D:E-11. Si se emplean tamices con placas perforadas de agujeros redondos, éstas cumplirán también lo que prescribe la Norma ASTM D:E-11.

El número y la abertura de los tamices se elegirán en cada ensayo, de acuerdo con los datos que se necesiten acerca del material que se va a ensayar o con lo que estipulen las especificaciones correspondientes.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. La muestra para ensayo será la totalidad del árido obtenido de la mezcla asfáltica después de haber extraído el betún.
- 3.2. Se deseca la muestra hasta peso constante a una temperatura entre los 100 y 110° C., y se pesa.

A este peso se le añade el de la materia mineral que pudiera contener la solución bituminosa y el aumento de peso del papel de filtro obtenidos en el ensayo de extracción del betún.

La suma de estos pesos constituye el peso total del árido que hay en la mezcla bituminosa.

Análisis granulométrico de los áridos extraídos de una mezcla asfáltica

NLT-165/63

1. OBJETO

- 1.1. Este método recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos extraídos de mezclas asfálticas, empleando tamices con mallas de abertura cuadradas. El método se puede también emplear cuando los tamices vayan provistos de placas perforadas con aberturas redondas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Balanza.—Una balanza con una sensibilidad del 0,1 % del peso de la muestra que se está ensayando.
- 2.2. Tamices.—Tamices con mallas de abertura cuadrada montados de forma que no se produzcan pérdidas de material durante la operación de tamizado.

Los tamices que se empleen cumplirán la Norma ASTM D:E-11. Si se emplean tamices con placas perforadas de agujeros redondos, éstas cumplirán también lo que prescribe la Norma ASTM D:E-11.

El número y la abertura de los tamices se elegirán en cada ensayo, de acuerdo con los datos que se necesiten acerca del material que se va a ensayar o con lo que estipulen las especificaciones correspondientes.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. La muestra para ensayo será la totalidad del árido obtenido de la mezcla asfáltica después de haber extraído el betún.
- 3.2. Se deseca la muestra hasta peso constante a una temperatura entre los 100 y 110° C., y se pesa.

A este peso se le añade el de la materia mineral que pudiera contener la solución bituminosa y el aumento de peso del papel de filtro obtenidos en el ensayo de extracción del betún.

La suma de estos pesos constituye el peso total del árido que hay en la mezcla bituminosa.

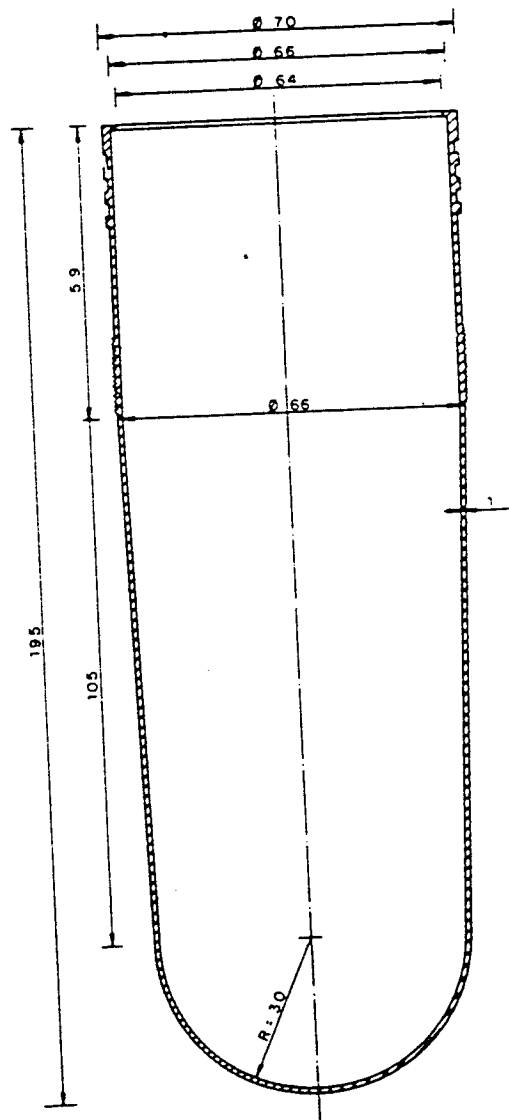


FIG. 3
VASO DE CENTRIFUGA

COTAS EN mm

- 3.3. La muestra después de seca y pesada se coloca en un recipiente y se añade la suficiente cantidad de agua para cubrirla. Para facilitar el mojado de la muestra se añadirá una pequeña cantidad de un agente humectante orgánico (metanol, jabones líquidos comerciales, etc.). Se agita vigorosamente el contenido del recipiente y se vierte inmediatamente el agua sobre un conjunto de dos tamices, formado por el tamiz núm. 10 y el tamiz núm. 200.
- 3.4. La agitación será lo suficientemente enérgica para lograr una separación total de las partículas más finas que el tamiz núm. 200 (74 micrones) respecto a las más gruesas, y conseguir además mantenerlas en suspensión con objeto de poder eliminarlas por decantación con el agua de lavado. La operación se repetirá cuantas veces sea necesaria hasta que el agua pase clara.
- 3.5. El material, más grueso que el tamiz núm. 200, después de lavado se seca a temperatura que no exceda de 110° C. y se pesa con una precisión del 0,2 %.
- 3.6. Se tamiza entonces el material sobre una serie de tamices escogidos de acuerdo con las especificaciones, incluido el del núm. 200. Se determina el peso del material retenido entre cada dos de ellos consecutivos, así como la cantidad que pasa por el núm. 200. La suma de estas cantidades no debe diferir en más del 0,1 % del peso de la muestra total después de lavada y seca.
- 3.7. El peso de material que pasa por el tamiz núm. 200, durante la operación de tamizado en seco, se suma con el peso del material separado por lavado y a estas cantidades se le añade la materia mineral del extracto bituminoso y el aumento de peso del anillo de papel de filtro obtenidos en el ensayo de extracción de betún. La suma total será el peso del material inferior al tamiz núm. 200.
Si se desea comprobar el peso de material eliminado por lavado se puede evaporar a sequedad las aguas de lavado o filtrarlas a través de un papel de filtro tarado, el cual después se seca y pesa, hallando lo retenido por diferencia.
- 3.8. Los pesos de las distintas fracciones retenidas entre cada dos tamices consecutivos y la total que pasa el tamiz núm. 200, se convierten en tantos por ciento dividiéndolas por el peso total del árido, tomando por tal el que se indica en el párrafo 3.2.

4. RESULTADOS

- 4.1. Los resultados del análisis granulométrico pueden expresarse de alguna de las formas que se indican a continuación.
- 4.2. En tanto por ciento retenido entre cada dos tamices consecutivos.
- 4.3. En tanto por ciento total que pasa cada tamiz.
- 4.4. Los tantos por ciento se expresarán redondeando las cifras al número entero más próximo.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHO Designación: T 30-55

103.

Método para la determinación del efecto del agua sobre las películas bituminosas que recubren los áridos

NLT-166/63

OBJETO

- 1.1. Este método recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación del efecto debido a la acción del agua sobre la película bituminosa que recubre un árido.
- 1.2. Mediante él puede valorarse en las mezclas bituminosas la resistencia al desplazamiento del aglomerante de la superficie de las partículas minerales por la acción del agua.
- 1.3. El método puede emplearse para varios propósitos: a) para juzgar a un árido; b) para juzgar a un aglomerante bituminoso; c) para juzgar la mezcla de un árido y un aglomerante bituminoso determinados.
- 1.4. El ensayo debe aplicarse tan sólo para los materiales que se van a emplear en forma de tratamientos superficiales y mezclas de granulometría abierta.
- 1.5. Los resultados obtenidos en este ensayo deben juzgarse de acuerdo con las condiciones de la obra en que se van a emplear. En términos generales, un material que desplace debe ser considerado como de mal resultado y, de tener que emplearlo, tomar las medidas más adecuadas para mejorar su comportamiento.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Tamices.—Tamices con malla de 9,52 mm. (3/8") y del núm. 3 (1/4").
- 2.2. Balanza de 1 kg. de capacidad y sensibilidad de 0,1 gr.
- 2.3. Una estufa con control termostático de temperatura, ventilada.
- 2.4. Cazos de aluminio de 1 l. de capacidad.
- 2.5. Mecheros, tripodes, espátulas, bandejas, etc..
- 2.6. Frascos de cristal de 1 l., de boca ancha, con tapón de goma.
- 2.7. Agitador mecánico.—Un aparato para agitar mecánicamente los frascos en posición horizontal, con un movimiento de vaivén de una amplitud de unos 5 cm. y de un periodo de 150 a 200 veces por mi-

nuto. En caso de no disponer de agitador mecánico se agitará la muestra a mano.

- 2.3. Gravillas de referencia.—Gravillas de referencia de buenas o malas características al desplazamiento por la acción del agua con ligantes normales.

3. PREPARACION DE ARIDOS

- 3.1. Las gravillas que se empleen tendrán un tamaño comprendido entre 9.52 mm. (3/8") y 1/4" (núm. 3).
- 3.2. Cuando sea necesario emplear el árido sin polvo, se lavará y secará en estufa a 110° C.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Los áridos se emplearán en general en las mismas condiciones a como se van a emplear en obra en lo que respecta a lavado o sucio, con polvo o sin él y húmedo o seco.
- 4.2. Los aglomerantes bituminosos serán los mismos que se van a emplear en obra o del mismo tipo y características.
- 4.3. Según el tipo del aglomerante, el ensayo se realizará de la forma que se indica en los párrafos que siguen.

ARIDOS SECOS CON BETUNES DE PENETRACION

- 4.4. Se pesan en tazos dos muestras de 100 gr. de árido seco, sucio o lavado, según las condiciones de obra.

Se calientan las muestras en una estufa a una temperatura comprendida entre 135 y 150° C. durante una hora, y en caliente se mezclan con el $5.5 \pm 0.2\%$ de betún previamente calentado a la misma temperatura, agitando la mezcla con una espátula de dos a cinco minutos, de manera que las partículas del árido queden perfectamente cubiertas.

Una vez cubiertas las partículas se extienden sobre una bandeja de forma que queden aisladas y sin rozarse unas con otras. En estas condiciones se permite que se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente. Una vez frías se introducen en un frasco y se cubren con 500 cc. de agua destilada, dejándolas sumergidas a la temperatura ambiente (20° C.), unas veinte horas (toda la noche). Al final de este período de tiempo se observará visualmente el estado de las partículas e inmediatamente se agitan durante quince minutos, volviendo a repetir la observación, extendidas sobre una bandeja, después de agitadas.

ARIDOS SECOS CON BETUNES FLUIDIFICADOS

- 4.5. El ensayo se realiza de la misma forma que en el párrafo 4.4, excepto que según la viscosidad del ligante las temperaturas de mezcla serán, aproximadamente, las siguientes:

| | |
|-----------|-----------------|
| Tipos 0-2 | de 30 a 40° C. |
| Tipos 3-4 | de 60 a 70° C. |
| Tipo 5 | de 80 a 100° C. |

Una vez envuelto se cura en el mismo caso durante el tiempo y las temperaturas que se indican a continuación:

| Tipo | Temperatura | Tiempo |
|--------|-------------|---------|
| SC 0-2 | 95° C. | 3 horas |
| SC 3-4 | 95° C. | 2 > |
| SC 5 | 95° C. | 1.5 > |
| MC 0-2 | 60° C. | 3 > |
| MC 3-4 | 60° C. | 2 > |
| MC 5 | 60° C. | 1.5 > |
| RC 0-2 | 50° C. | 3 > |
| RC 3-4 | 50° C. | 2 > |
| RC 5 | 50° C. | 1.5 > |

Inmediatamente después de acabado el tiempo de cura, y al sacar los casos de la estufa, se agitan por medio de la espátula para homogeneizar la distribución del material asfáltico residual y se continúa ya el procedimiento descrito en el párrafo 4.4, de extenderlas sobre una bandeja, dejarlas enfriar, etc.

ARIDOS SECOS O HUMEDOS CON EMULSIONES ASFALTICAS

4.6. Se pesan en casos dos muestras de 100 gr. de árido seco, sucio o lavado, según las condiciones de obra.

Si el ensayo es un árido húmedo se añaden 3 cc. de agua destilada y se humedece homogéneamente el material agitándolo con una espátula.

Se añade entonces a la temperatura ambiente (unos 20° C.) la cantidad suficiente de emulsión para que el residuo asfáltico sea el 5 = 0.2 % (10 % de emulsión del 50 % y 8.3 para emulsión al 60 %). Se mezcla vigorosamente con la emulsión hasta que rompa completamente y todas las partículas de árido han quedado perfectamente cubiertas.

A continuación, en el mismo caso, se introducen en una estufa y se curan a 100-110° C. durante dos horas, en el caso de árido seco, y durante tres horas en el caso de árido húmedo.

Inmediatamente después de sacarlas de la estufa al terminar el período de cura se agita en caliente la mezcla, en el mismo caso, para homogeneizar la distribución del material, y se extienden las gravillas envueltas sobre una bandeja, continuando el ensayo como se indicó en el párrafo 4.4.

ENSAYO DE PRODUCTOS BITUMINOSOS CON O SIN * ACTIVANTES

4.7. En el caso de que se trate de juzgar sobre el comportamiento de un determinado producto bituminoso, con o sin activantes respecto a la acción del agua, el ensayo se realiza de acuerdo con los párrafos anteriores según el tipo del producto y como árido se emplearán gravillas cuyas características respecto al desplazamiento por la acción del agua sean conocidas, o bien haciendo el ensayo de forma comparativa con respecto a otro producto del mismo tipo.

5. RESULTADOS

- 5.1. Después de extendidas las partículas sobre una bandeja al final del ensayo se separan en tres grupos: a) las que no presentan desplazamiento en ningún punto de su superficie; b) las que sólo presentan puntos aislados en bordes o irregularidades de la superficie, y c) las que presentan total o parcialmente zonas claramente desplazadas.
- 5.2. Se hace un recuento aproximado de cada una de las tres clases y se calculan los tantos por ciento respecto al total de partículas.
- 5.3. Como resultado se dará el área cubierta estimada como «superior al 95 %» o «inferior al 95 %».
- 5.4. Hay que hacer observar que no se consideran como desplazadas las zonas de las partículas que aún teniendo un color más claro conservan material bituminoso recubriéndolas.

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS.

ASTM Designación: D 1664-59 T

Método para la determinación de la densidad de mezclas asfálticas compactadas

NLT-168/63

1. OBJETO

- 1.1. Este método recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la densidad de muestras de mezclas asfálticas compactadas. Las muestras de ensayo pueden ser de mezclas asfálticas moldeadas en el laboratorio o tomadas del pavimento terminado.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Para muestras superiores a 250 gr. e inferiores a 5 kg. de peso.
 - 2.1.1. Balanza con una capacidad de 5 kg. o más y sensible a 0,5 gramos o menos.
 - 2.1.2. Cestillo de alambre de malla núm. 4 (4.76 mm.), de unos 20 centímetros de diámetro y 20 cm. de altura.
 - 2.1.3. Recipiente con artificio de rebosamiento, para sumergir el cestillo de alambre en agua y mantener el agua a un nivel constante.
 - 2.1.4. Mecanismo para suspender el cestillo de alambre de la balanza.
 - 2.1.5. Parafina.
- 2.2. Para muestras de 250 gr. o menos.
 - 2.2.1. Balanza con una capacidad de 500 gr. o más y sensible a 0,1 gr. o menos, equipada con un soporte que permita colocar un vaso debajo del brazo de la balanza para pesadas en agua.
 - 2.2.2. Un vaso u otro recipiente apropiado para pesar la muestra en agua por medio de un hilo suspendido del gancho de la balanza sobre el soporte.
 - 2.2.3. Parafina.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra.
 - 3.1.1. Con objeto de no tener pérdidas durante las manipulaciones a que va a ser sometida la muestra, arrancar y quitar com-

pletamente todas las partículas y bordes que tenga sueltos.

3.2. Ejecución del ensayo.

3.2.1. *Peso de la muestra sin recubrir de parafina.*—Determinar el peso de la muestra de ensayo a temperatura ambiente, antes de haber sumergido la muestra en agua y después de que haya permanecido en aire a temperatura ambiente, durante un mínimo de una hora. Pesar las muestras mayores de 250 gramos con una aproximación de 0,5 gr. y las muestras de 250 gr. o menos, con aproximación de 0,1 gr. Designaremos este peso por «A».

3.2.2. *Peso de la muestra recubierta de parafina.*—Pintar toda la superficie de la muestra de ensayo con una capa de parafina de suficiente espesor, para cerrar todos los huecos superficiales.

Nota.—La aplicación de la parafina se debe efectuar enfriando la muestra en un baño refrigerante a una temperatura de 4,5° C., aproximadamente, durante treinta minutos y luego sumergiendo la muestra en parafina caliente. Puede ser necesario pintar con un pincel y parafina caliente los huecos que hayan podido quedar en la superficie parafinada. Enfriar la película de parafina en aire a una temperatura de 25° C., durante treinta minutos, y luego determinar el peso seco de la muestra a temperatura ambiente, con la misma aproximación que se indica en el Apartado 3.2.1. Designaremos este peso por «D».

Nota.—Si se desea emplear la muestra en otros ensayos que requieran eliminar la capa de parafina aplicada, debe ser tratada la muestra primeramente con polvos de talco.

3.2.3. *Peso de la muestra cubierta de parafina en agua.*—Sumergir la muestra recubierta de parafina en un baño de agua a 25° C. durante cuatro horas y luego pesar en agua, empleando el aparato descrito en la sección 2. Las pesadas se harán con la misma aproximación que se indica en el Apartado 3.2.1. Designaremos el peso de la muestra recubierta de parafina en agua por «E».

3.2.4. *Peso específico de la parafina.*—Determinar el peso específico de la parafina, si no se conoce. Lo designaremos por «F».

3.2.5. En el caso de muestras obtenidas de un pavimento y conteniendo humedad, es necesario corregir los pesos A, D y E, teniendo en cuenta la humedad. Después de determinar E, determinar el tanto por ciento en peso de humedad de acuerdo con la Norma NLT-123/63 y aplicar la corrección adecuada a los pesos A, D y E.

4. RESULTADOS

4.1. Cálculos.

4.1.1. El cálculo de la densidad de la muestra de ensayo se realiza con arreglo a la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{A}{D - E - \left(\frac{D - A}{F} \right)}$$

donde:

- A = Peso en gramos de la muestra seca, en aire.
- D = Peso en gramos de la muestra seca cubierta de parafina, en aire.
- E = Peso en gramos de la muestra seca cubierta de parafina, en agua; y
- F = Peso específico de la parafina.

4.2. Precisión.

- 4.2.1. Las determinaciones realizadas por duplicado no diferirán en ± 0.02 en el caso de muestras con un peso superior a 250 gramos e inferior a 5 kg. y entre 0.01 para muestras con un peso de 250 gr. o menor.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM Designación: D 1133-56
AASHTO " T 100-55

NLT-174/72***Pulimento acelerado de los áridos*****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse en el laboratorio para ensayar la susceptibilidad al pulimento de los áridos, mediante la máquina de pulimento acelerado, valorando esta susceptibilidad por medio del Coeficiente de Pulido Acelerado (C.P.A.), determinado con ayuda del péndulo de fricción (NLT-175/73).
- 1.2. Este pulimento, conseguido mediante la acción del neumático de la máquina y los abrasivos empleados, pretende reproducir de manera acelerada el que experimenta el árido bajo la acción del tráfico real cuando forma parte de la capa de rodadura de una carretera.

Nota 1.— Aunque las características del árido grueso son el factor más importante en el coeficiente de resistencia al deslizamiento de un pavimento, hay otros factores, como las condiciones del tráfico, tipo de superficie, etc., que pueden afectar a las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Todos estos factores, junto con la reproducibilidad del ensayo, deben ser tenidos en cuenta cuando se trate de establecer especificaciones para obras de carretera que definan los límites de los valores del C.P.A.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Máquina de pulimento acelerado.— La máquina para el ensayo de pulimento de los áridos, representada en la figura 1, deberá montarse bien nivelada sobre una bancada rígida, y tendrá las características que se indican a continuación:
 - 2.1.1. Un mecanismo denominado "rueda de ensayo", sobre cuya periferia lisa se podrán fijar 14 probetas, según se indica en el apartado 3.6, con el fin de componer una superficie continua de rodadura, formada por las partículas de árido, de 45 mm de ancho y 406 mm de diámetro.
 - 2.1.2. Un sistema para hacer girar la rueda de ensayo alrededor de su eje a una velocidad comprendida entre 33 y 34 rad/s (315 y 325 r.p.m.).
 - 2.1.3. Un mecanismo formado por un brazo de palanca alineado con la rueda de ensayo, que lleva en su parte central una rueda neumá

tica montada en un eje paralelo al de la rueda de ensayo, y en su extremo, una pesa. La disposición será tal que permita girar libremente a la rueda neumática sobre la superficie de las probetas, formando aproximadamente un área de contacto de 8 cm² debida a una fuerza de 400 N (40 kgf) provocada por la pesa situada en el extremo del brazo de palanca.

- 2.1.4. El neumático de la rueda, del tipo industrial para carretillas, con diámetro exterior de 200 mm y ancho de 50 mm, será de las siguientes características: superficie lisa, de 8 x 2, con dos lonas y una dureza de la goma de 55 ± 5 grados internacionales, trabajando a una presión de inflado de 310 ± 14 kN/m² ($3,15 \pm 0,15$ kf/cm²).
- 2.1.5. Es importante que la máquina esté bien alineada y que ambas ruedas giren libremente sin juego en sus ejes. Para ello los planos de rotación de las dos ruedas no se desviarán del paralelismo más de 20 minutos de arco (0,8 mm en 150 mm). Al mismo tiempo el centro de los planos de las dos ruedas no estarán desplazados más de 0,8 mm.
- 2.1.6. Un mecanismo para la alimentación, a una velocidad uniforme, de los abrasivos empleados y del agua (fig. 2), de tal manera que estos materiales se viertan continuamente entre las superficies del neumático y de las probetas cuando se esté realizando el ensayo. Este mecanismo consiste en una tolva rígidamente unida al núcleo de un solenoide, que la pone en vibración. La amplitud de la vibración puede variarse por medio de una tuerca estriada, lo que permite regular la alimentación del material abrasivo durante el proceso del ensayo.
- 2.2. Moldes para la preparación de las probetas. — Los moldes metálicos empleados para la fabricación de las probetas serán del tipo que se indica en la figura 3, y consistirán en segmentos circulares de la rueda de ensayo de 90,6 mm de longitud, 44,5 mm de ancho y 13 mm de altura.
- 2.3. Tamices. — Tamices UNE, de malla cuadrada, de los siguientes tamaños: 10, 8, 0,63, 0,50, 0,40, 0,32, 0,20, 0,16 y 0,050 (A.S.T.M. 3/8 y 5/16 pulgadas y núms. 30, 35, 40, 50, 70, 80 y 270).
- 2.4. Materiales abrasivos.
- 2.4.1. Arena silíceo (nota 2) dura y limpia o esmeril granulado, cuya granulometría esté comprendida dentro de los siguientes límites:

TABLA I

| Tamiz UNE | Tamiz A.S.T.M. | % que pasa |
|-----------|----------------|------------|
| 0,63 | (Núm. 30) | 98-100 |
| 0,50 | (Núm. 35) | 70-100 |
| 0,40 | (Núm. 40) | 30-90 |
| 0,35 | (Núm. 45) | 0-30 |
| 0,32 | (Núm. 50) | 0-5 |

- 2.4.2. Polvo de esmeril fino (nota 2) separado por corriente de aire o por lavado con agua.

Nota 2.— Arena y polvo de esmeril que cumpla las características indicadas en los apartados 2.4.1 y 2.4.2, pueden solicitarse al Laboratorio Regional del Servicio de Materiales de la 1.ª Jefatura Regional de Carreteras, Madrid.

- 2.5. Materiales para la fabricación de las probetas de ensayo.
2.5.1. Arena silíceo dura y limpia, cuya granulometría esté comprendida dentro de los siguientes límites:

TABLA II

| Tamiz UNE | Tamiz A.S.T.M. | % que pasa |
|-----------|----------------|------------|
| 0,40 | (Núm. 40) | 100 |
| 0,32 | (Núm. 50) | 85-100 |
| 0,20 | (Núm. 70) | 20-50 |
| 0,16 | (Núm. 80) | 0-5 |

- 2.5.2. Cemento aluminoso tipo CA-350.
2.5.3. Arena fina silíceo para el relleno de los intersticios entre las partículas del árido que forme cada probeta, cuya totalidad pase por el tamiz 0,16 UNE (A.S.T.M. núm. 80).
2.5.4. Alambre de acero ordinario para armar las probetas de aproximadamente 1,2 mm de diámetro.
2.5.5. Bandas de polietileno de 0,25 mm de grueso, para el asiento de las probetas sobre la rueda de ensayo, y tiras del mismo material de 44,5 mm de largo y 13 mm de ancho para acoplamiento entre los bordes de las probetas contiguas.
- 2.6. Péndulo de fricción.— El aparato utilizado para efectuar la medida inicial del coeficiente de resistencia al deslizamiento, así como la medida del pulimento acelerado a que son sometidos los áridos en el laboratorio, será el péndulo de fricción inglés (Skid Resistance Tester) (fig. 4), cuyas características estarán de acuerdo con las especificaciones dadas por la norma NLT-175/73).
- 2.7. Dispositivos y material para efectuar las medidas con el péndulo sobre probetas.
2.7.1. Zapatas de goma.— Las zapatas de goma a emplear en la medida del grado de pulido de los áridos (fig. 5 a), serán de 32 mm de longitud, 25,5 mm de ancho y 6,5 mm de grueso. La masa del conjunto, zapata de goma y placa soporte de aluminio, será de 20 ± 5 g. Las características de la goma para las zapatas cumplirá las especificaciones fijadas en la norma NLT-175/73. Las zapatas serán cortadas de planchas de goma. Sus aristas de trabajo presentarán cortes rectos y limpios, estando la goma

libre de toda contaminación (abrasivos, aceite, etc.). No se utilizará ninguna zapata cuya resiliencia haya disminuido en más de 5 unidades, en los seis primeros meses desde su fabricación. Las zapatas de goma sufren un cierto desgaste al rozar con la superficie de ensayo, que depende de la rugosidad macro o microscópica de la superficie que se mida, de la temperatura alcanzada por la goma y de su grado de mojado. Este desgaste da lugar a un área de contacto mayor entre zapata y superficie a medir, así como a una mayor adherencia, que termina por originar en la arista de la zapata una rebaba (fig. 5-b), que también contribuye a aumentar la adherencia aunque disminuya la presión, obteniéndose de esta forma valores mayores de lo normal en las medidas efectuadas. En todos los casos deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con que se efectúen las medidas, cuando presente una superficie rozada superior a los 2,5 mm de ancho (fig. 5-c) o cuando se hayan practicado 35 pasadas después de su acondicionamiento.

- 2.7.2. Tela de abrasivo para acondicionamiento de las zapatas. — Consistirá en tiras de tela de carburo de silicio del número 60 (nota 3), autoadhesivas, de 30 mm de ancho y 150 mm de longitud, pegadas sobre una base metálica.

Nota 3. — Las características de la tela de carburo de silicio número 60 corresponden con la denominada "Safety Walk, tipo B", fabricada en España por Minnesota de España, S. A.

- 2.7.3. Dispositivo cuando las probetas no se desmontan de la rueda de ensayo. — Un dispositivo para fijar la rueda de ensayo (fig. 6) de la máquina de pulimento acelerado, descrita en el apartado 2.1.1, coincidente con la probeta curva a medir, transcurrido un período determinado del proceso de pulimento, de tal forma y manera que su eje horizontal quede alineado con el plano de desplazamiento del péndulo, y en su posición centrada respecto de la zapata de goma y del eje de suspensión de aquél.
- 2.7.4. Dispositivo cuando las probetas se desmontan de la rueda de ensayo. — Un dispositivo (fig. 7), para sujetar la probeta curva rigidamente, una vez desmontada de la rueda de ensayo y transcurrido un período determinado del proceso de pulimento, con su dimensión mayor en el sentido del plano de deslizamiento del péndulo, y centrada respecto de la zapata de goma y del eje de suspensión de aquél.
- 2.7.5. Plantilla graduada. — Una plantilla metálica curva, graduada (fig. 8), para fijar la tolerancia permitida en la medida de la longitud de rozamiento, entre la zapata de goma y la superficie de la probeta a ensayar. La longitud de rozamiento correcta en las medidas a efectuar sobre probetas, será de $76,2 \pm 1,3$ mm.
- 2.7.6. Utensilio para la limpieza de las probetas. — Un cepillo de cerdas, de goma o artificial, duras, con una longitud de unos 20 mm, de

forma redonda tipo betunero, de 40 mm de diámetro, para utilizarlo en la limpieza de las probetas a ensayar en el laboratorio.

2.7.7. Material auxiliar. — Pulverizador, bandejas, espátulas, cepillos, etc.

3. PREPARACION DE LOS MATERIALES Y MECANISMOS DE ENSAYO

3.1. Preparación del árido. — La cantidad mínima de árido necesaria para el ensayo de cada muestra será de unos 5 kg. El árido a ensayar deberá ser gravilla limpia de polvo por lavado y desecada en estufa a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C, con tamaño comprendido entre los tamices 10 y 8 UNE (A.S.T.M. 3/8 y 5/16 pulgadas). Las partículas del árido no tendrán forma de placa ni de aguja (nota 4).

Nota 4. — Una forma de eliminar las partículas lajosas del árido consiste en utilizar solamente el material retenido por la plantilla especial de lajas, con abertura alargada de 12,5—10 mm, empleada en la determinación, del coeficiente de forma.

El árido a ensayar deberá ser una muestra representativa del material producido por la planta de machaqueo, ya que las gravillas que se trituraran en el laboratorio pueden dar resultados altos y, por tanto, erróneos. La textura superficial de las partículas que se someta a la acción de pulimento del neumático debe ser representativa de la textura superficial media del árido a ensayar. En casi todas las muestras pueden aparecer un determinado número de partículas de árido que presenten una textura superficial muy lisa o muy rugosa; estas partículas no deben utilizarse en la preparación de las probetas de ensayo.

3.2. Preparación de los moldes. — Los moldes a utilizar para la fabricación de las probetas, cuyas características se indican en el apartado 2.2, deberán ser ligeramente engrasados por sus caras interiores laterales, mediante un trapo o pincel mojado en aceite mineral.

3.3. Preparación del mortero. — El mortero se preparará mezclando arena y cemento a partes iguales (1/1), en peso (nota 5), de la arena especificada en el apartado 2.5.1, y del cemento especificado en el apartado 2.5.2, con su correspondiente porcentaje de agua de amasado. Esta mezcla deberá quedar bien homogeneizada y con una consistencia plástica, al objeto de disponer de un período de tres cuartos de hora, en el que su manejabilidad facilite la preparación de las probetas.

Nota 5. — Como fórmula recomendable a emplear en la preparación de un mortero de buenas características, para la fabricación de una serie de cuatro probetas, puede considerarse la siguiente:

| Materiales | % del material | Masa del material en g |
|-----------------------|----------------|------------------------|
| Arena silícea | 50 | 152 |
| Cemento CA-350 | 50 | 152 |
| Agua de amasado | 19,6 | 60 |

En las caras laterales de las dos aristas acondicionadas de cada zapata deberá marcarse una zona triangular (fig. 5-a), con pintura blanca o amarilla, para poder apreciar con mayor claridad los puntos de contacto inicial y final del recorrido de la superficie a medir (apartado 4.3.6), fijado con ayuda de la plantilla graduada especificada en el apartado 2.7.5. Cada zapata de goma solamente podrá utilizarse en ensayos de medida con el péndulo el mismo día de su acondicionamiento.

4. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 4.1. Media inicial del coeficiente de resistencia al deslizamiento.— La medida inicial sobre las probetas a ensayar se efectuará siguiendo las instrucciones del apartado 4.3. y siguientes, así como las instrucciones generales de la norma NLT-175/73.
- 4.2. Pulimento acelerado de las probetas.— La temperatura de la habitación en la que se efectúe el ensayo de pulimento acelerado estará comprendida entre 15 a 25 °C.
 - 4.2.1. Ciclo de pulimento con arena o esmeril granulado y agua.— La rueda de ensayo con las probetas ya fijadas a la misma se acoplará al eje de la máquina en su posición normal de trabajo. A continuación se apoyará la rueda neumática sobre la superficie de las probetas y se colocará, colgada en el extremo del brazo de palanca, la pesa precisa para ejercer sobre aquéllas una carga total de 400 N. Seguidamente se ajustará el mecanismo de alimentación de la arena o esmeril granulado, abriéndose la llave del agua, de forma que el caudal de alimentación sea para ambos el fijado en el apartado 3.7. Inmediatamente se pondrá la máquina en marcha a su velocidad de trabajo de 33 a 34 rad/s, durante un periodo de 3 horas \pm 5 minutos.
Transcurrido este ciclo de pulimento de las probetas se parará la máquina. Se limpiarán la rueda y las probetas completamente por medio de agua, sin desmontarlas, hasta que hayan desaparecido todas las partículas de arena o esmeril granulado.
Se desmontará de la máquina el mecanismo de alimentación empleado anteriormente.
 - 4.2.2. Ciclo de pulimento con polvo de esmeril y agua.— Se montará ahora, sobre la rueda neumática, el mecanismo de alimentación para el polvo de esmeril, ajustando su caudal de alimentación como se indica en el apartado 3.8. Se apoyará de nuevo la rueda neumática sobre la superficie de las probetas y se colocará, colgada en el extremo del brazo de palanca, la pesa precisa para ejercer sobre aquéllas una carga total de 400 N.
Seguidamente se pondrá la máquina en marcha a su velocidad de trabajo de 33 a 34 rad/s durante un periodo de 3 horas \pm 5 minutos.
Transcurrido este segundo ciclo de pulimento de las probetas se

- 3.4. Preparación de las probetas. — Se comenzará la preparación de las probetas disponiendo en el fondo del molde una capa constituida por 40 a 60 partículas del árido a ensayar, del tamaño especificado en el apartado 3.1, situadas una al lado de la otra y tan cerca como sea posible, de manera que cubran el área del molde. Las partículas de piedra se colocarán una a una, de forma que escogiendo la cara más adecuada la superficie a pulimentar sea lo más plana posible, no debiendo presentar en ningún caso aristas cortantes respecto a la superficie del neumático.

Una vez completado el fondo del molde con la capa de partículas del árido así dispuestas, se rellenarán los intersticios que queden entre las partículas con la arena fina especificada en el apartado 2.5.3 hasta la mitad de su espesor. Se humedecerá a continuación la arena con un pulverizador. Seguidamente se colocarán longitudinalmente en el molde, sobre la capa del árido, tres alambres de los especificados en el apartado 2.5.4. En estas condiciones se rellenará el molde con un mortero de arena y cemento, del tipo que se indica en el apartado 3.3. Una vez vertido el mortero en el molde y cubiertas totalmente las partículas de piedra y los tres alambres de refuerzo, se golpeará el molde ligeramente por sus cuatro costados con el mango de la espátula, al objeto de conseguir que el mortero penetre entre los intersticios del árido. A continuación, con la hoja de la espátula apoyada sobre los bordes del molde se enrasará cuidadosamente su superficie.

Las probetas así preparadas se mantendrán en sus moldes durante cuatro horas, periodo inicial de fraguado, al final del cual serán desmoldadas cuidadosamente. Seguidamente se curarán durante 3 días en cámara húmeda y en condiciones normalizadas, sumergiendo las probetas en un recipiente con agua y manteniendo la superficie de los áridos hacia abajo, evitando el contacto de éstos con el fondo del recipiente mediante unas tiras de madera u otro material, en las que se apoyarán las probetas por sus guías; el agua del recipiente será cambiada cada día con el fin de eliminar la película de materia aluminosa que sobrenada en el líquido.

Se fabricarán cuatro probetas por cada tipo de árido a ensayar. Las probetas fabricadas tendrán un espesor uniforme y mínimo de 13 mm; la superficie de asiento será un arco de círculo del mismo diámetro de la periferia de la rueda de ensayo.

- 3.5. Montaje y preparación de la rueda neumática. — La rueda neumática se montará en la máquina de ensayo tal como queda indicado en el apartado 2.1.3. Cuando se trate de una rueda neumática nueva será preparada antes de ser empleada en un ensayo haciéndola girar durante 3 horas bajo un régimen de arena y agua, y otras 3 horas bajo un régimen de polvo de esmeril y agua, en la misma forma que se especifica para el ensayo normal en los apartados 3.6 y 3.7, utilizando para este proceso de preparación probetas de reserva, dos de las cuales serán probetas de árido patrón con C.P.A. de alrededor de 0,50 (nota 6) no pulimentadas.

Nota 6. — Un neumático nuevo se considerará preparado para su utilización en el ensayo de pulimento acelerado cuando la medida del C.P.A. de las probetas patrón esté comprendida alrededor del valor medio con una dispersión de 0,4 unidades. Si la medida del C.P.A. es superior al valor medio se continuará el proceso de preparación hasta alcanzar tal valor. Un neumático se utilizará en ensayos de pulimento acelerado hasta que el desgaste provocado en la muestra patrón sea inferior al valor medio, o presente señales de desgaste irregular. En general, dependiendo de la naturaleza de los áridos, la duración de un neumático suele ser de diez a veinte ensayos completos (de 60 a 120 horas).

- 3.6. Preparación de la rueda de ensayo. — Las probetas ya fabricadas y desmoldadas, como se indica en el apartado 3.4, se montarán firmemente alrededor de la periferia de la rueda de ensayo, mediante las pletinas laterales, colocando antes bajo las probetas y entre cada dos de ellas las bandas de polietileno especificadas en el apartado 2.5.5. Las catorce probetas a montar en la rueda de ensayo deben numerarse en la forma siguiente:

- 4 probetas de la primera muestra: 1 a 4.
- 4 probetas de la segunda muestra: 5 a 8.
- 4 probetas de la tercera muestra: 9 a 12.
- 2 probetas de árido patrón: 13 y 14.

La disposición de las 14 probetas en la rueda de ensayo se hará de acuerdo con el siguiente orden:

1-14-5-8-7-13-10-4-3-11-12-2-6-9

Nota 7. — El orden de disposición de las probetas en la rueda de ensayo ha sido obtenido a partir de una tabla estadística de números aleatorios.

- 3.7. Alimentación de arena o esmeril granulado y agua. — La alimentación del abrasivo especificado en el apartado 2.4.1, mediante el mecanismo descrito en 2.1.6, se efectuará a un régimen de 20 a 35 g/min de arena o esmeril granulado (régimen medio recomendado 27,5 g/min), añadiendo a la vez un caudal igual de agua a la temperatura de 20 ± 2 °C.
- 3.8. Alimentación del polvo de esmeril y agua. — La alimentación del polvo de esmeril especificado en el apartado 2.4.2, mediante el mecanismo descrito en 2.1.6, se efectuará a un régimen de 2 a 4 g/min de polvo de esmeril (régimen medio recomendado de 3 g/min) y un caudal doble de agua a la temperatura de 20 ± 2 °C.
- 3.9. Acondicionamiento de las zapatas de goma. — Cada arista de la zapata que vaya a ser utilizada en medidas sobre probetas de ensayo, será acondicionada dando 5 pasadas sobre la superficie seca y otras 20 pasadas sobre la superficie húmeda de una tira de tela de abrasivo, de las especificadas en el apartado 2.7.2. La tira de tela de abrasivo se humedecerá por medio de agua limpia, a la temperatura de 20 ± 2 °C.

parará la máquina, procediéndose a la limpieza de la rueda y de las probetas como se indica en el apartado 4.2.1.

Después de la limpieza y lavado de las probetas, si éstas son desmontadas de la rueda de ensayo, se mantendrán durante un período de 1/2 hora a 2 horas, con la superficie del árido hacia abajo, en un recipiente con agua a una temperatura comprendida entre 18 a 22 °C, y dispuestas en la misma forma que se indica en el apartado 3.4. Inmediatamente de sacarlas del baño deben ser ensayadas con el péndulo de fricción, tal como se indica en el apartado 4.3. En ningún momento anterior a las medidas con el péndulo debe permitirse que las probetas se sequen (nota 8).

Nota 8.— Las probetas después de pulidas son muy delicadas de manejo, debiéndose evitar el tocar con los dedos sus superficies pulimentadas.

4.3. Medida del pulimento.— Para efectuar la medida inicial del coeficiente de resistencia al deslizamiento sobre probetas de árido (apartado 4.1), así como medidas del Coeficiente de Pulido Acelerado (C.P.A.) alcanzado por las probetas de árido en el proceso de pulimento (apartado 4.2.), tanto si las probetas son o no desmontadas de la rueda de ensayo (apartados 2.7.3. y 2.7.4.), se utilizará el péndulo de fricción (apartado 2.6) y deberá operarse siguiendo las instrucciones de la norma NLT-175/73 y las que se especifican a continuación:

- 4.3.1. Las medidas del ensayo sobre probetas de árido se efectuarán a la temperatura de 20 ± 2 °C. El péndulo de fricción se mantendrá en la sala de trabajo, por lo menos dos horas, antes de comenzar los ensayos y al objeto de que el aparato pueda alcanzar la temperatura ambiente.
- 4.3.2. El péndulo se colocará sobre la base firme que aparece en las figuras 6 ó 7, procediéndose a su montaje y nivelación como se indica en la norma NLT-175/73.
- 4.3.3. En la medida inicial del coeficiente de resistencia al deslizamiento (apartado 4.1) no es preciso efectuar la operación de limpieza de las probetas que se indica en el siguiente apartado 4.3.4.
- 4.3.4. Las probetas de ensayo, después del segundo ciclo de pulimento, se limpiarán por medio de agua, ayudándose con el cepillo que se indica en el apartado 2.7.6, asegurándose de que su superficie quede libre de partículas de los abrasivos utilizados en el proceso de pulimento.
- 4.3.5. A continuación la probeta a medir se sujetará firmemente, bien mediante el dispositivo descrito en el apartado 2.7.3 y cuando la medida se efectúe sin desmontar las probetas de la rueda de ensayo, o bien mediante el dispositivo descrito en el apartado 2.7.4 y cuando la medida se efectúe desmontando las probetas de la rueda de ensayo.

Según que se emplee uno u otro dispositivo para la realización de las correspondientes medidas de ensayo, las probetas deberán ser colocadas de manera que su dimensión mayor quede dispuesta en la misma dirección que la trayectoria a recorrer por zapata, y simétricamente con ésta y el eje de oscilación. La zapata deslizará sobre la probeta en la misma dirección (nota 9) que es recorrida la rueda de ensayo por el neumático, en la máquina de pulimento.

Nota 9. — Para efectuar correctamente esta operación es conveniente marcar un borde longitudinal en cada probeta. Si esta marca está en el lado más lejano del operador durante el proceso de pulimento, deberá quedar del lado más próximo al operador durante el proceso de medidas con el péndulo, y viceversa.

- 4.3.6. Montado el péndulo y comprobado el "cero" del aparato como prescribe la norma NLT-175/73, se ajustará la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma, en su contacto sobre la probeta, recorra una longitud de $76,2 \pm 1,3$ mm, que será fijada con ayuda de la plantilla graduada especificada en el apartado 2.7.5.
- 4.3.7. En la realización de las medidas de cada conjunto de catorce probetas se utilizarán dos aristas de dos zapatas diferentes, acondicionadas como se indica en el apartado 3.9. Con objeto de distribuir las diferencias debidas a las distintas zapatas y para compensar los desgastes de las mismas, las probetas serán ensayadas con el péndulo de fricción en el siguiente orden:
- 1.ª zapata: Probetas 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13.
 - 2.ª zapata: Probetas 14, 12, 10, 8, 6, 4 y 2.
- 4.3.8. Antes de efectuar las correspondientes medidas de ensayo, la superficie de las probetas y la arista de la zapata se humedecerán con abundante agua limpia, a la temperatura de 20 ± 2 °C, procurando no descolocar la zapata de su posición correcta.
- 4.3.9. Se procederá en este momento a la realización de las medidas, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo y la aguja (nota 10), anotándose la lectura marcada por ésta en la escala graduada K' (fig. 4) y redondeando el valor leído a la centésima.
- Esta operación se repetirá 5 veces sobre cada probeta de idéntico material y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua la superficie de ensayo y la arista de la zapata antes de cada disparo. En estas condiciones, se tomará como valor medio el resultante de las tres últimas lecturas obtenidas sobre cada probeta.

Nota 10. — Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se volverán a su posición de reposo, debiendo

recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso y antes de que pase por su posición vertical, evitando así el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, ayudándose para ello de la palanca de elevación P (fig. 4).

- 4.3.10. Con objeto de obtener información adicional respecto a la evolución del grado de pulimento que puede experimentar un árido, es conveniente realizar medidas sobre las probetas de la resistencia a ese pulimento con el péndulo de fricción, una vez transcurridos distintos periodos durante el ensayo, generalmente cada hora, en cuyo caso el proceso de parada de la máquina y limpieza de la rueda de ensayo y las probetas, indicados en los apartados 4.2.1 y 4.2.2, se efectuará antes de proceder a la correspondiente medida.

5. RESULTADOS

5.1. Expresión de los resultados.

- 5.1.1. La lectura del valor marcado por la aguja del péndulo en la escala K' al realizar las medidas del ensayo, se redondeará a la centésima.
- 5.1.2. El resultado de las medidas efectuadas con el péndulo de fricción sobre las probetas pulimentadas, será el valor medio de las cuatro probetas de cada muestra ensayada y se expresará en la forma de: Coeficiente de Pulido Acelerado (C.P.A.).
- 5.1.3. Cuando se hayan realizado medidas con el péndulo de fricción en la forma que se indica en el apartado 4.3.10, se incluirá en el resultado del ensayo los coeficientes de resistencia al pulimento obtenidos a distintos periodos de ensayo, literal y/o gráficamente.

5.2. Precisión.

- 5.2.1. Si los valores medios de las tres últimas lecturas obtenidas sobre las cuatro probetas de cada árido ensayado difieren, como máximo, en más de cinco unidades, se fabricará otra nueva serie de cuatro probetas de idéntico material, para su nuevo ensayo en la máquina de pulimento acelerado y su consiguiente medida con el péndulo de fricción.
- 5.2.2. Reproducción.— Se pueden aceptar con el 95 por 100 de probabilidad los resultados de los ensayos realizados por distintos operadores y diferentes laboratorios, que no difieran en ± 3 unidades.

Nota 11.— El valor de la reproducibilidad está basado en los resultados medios obtenidos con áridos para carreteras, con coeficientes de pulido comprendidos entre 0,30 y 0,68. Por el momento no se dispone de datos suficiente para saber si el valor de la reproducibilidad del ensayo se cumple en todo el intervalo más arriba indicado.

6. OBSERVACIONES

- 6.1. La goma en planchas o cortada en zapatas se almacenarán protegidas de la luz y a una temperatura comprendida entre 10 a 20 °C.
- 6.2. No se utilizarán zapatas de goma que tengan más de un año de edad, contado a partir de los seis primeros meses desde su fabricación.
- 6.3. Una vez concluido todo proceso de acondicionamiento de zapatas de goma, es conveniente revisar el estado de las aristas y los valores de los coeficientes obtenidos; estos valores, si la longitud de contacto fue correcta, deberán ser muy parecidos. Los resultados de este procedimiento pondrán de manifiesto las zapatas defectuosas, que serán eliminadas, o el incorrecto ajuste del péndulo de fricción, que deberá ser corregido.
- 6.4. En la comprobación del "cero" del péndulo de fricción (apartado 4.3.6 y norma NLT-175/73) se repetirán los disparos de la aguja indicadora I y las correcciones con los anillos de fricción E y E' (fig. 4) precisos, hasta que la aguja marque en consecutivas veces la lectura "cero" en la escala K'.
- 6.5. Después de un determinado número de medidas con el péndulo de fricción (5 ó 6 probetas), es conveniente realizar una nueva comprobación del "cero" del aparato.
- 6.6. Al objeto de evitar vibraciones o movimientos en la base del péndulo, se recomienda sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúa un disparo del brazo oscilante.
- 6.7. Es conveniente efectuar la calibración periódica del péndulo de ensayo. Para esta comprobación de mantenimiento del aparato, la División de Materiales del Ministerio de Obras Públicas dispone de los elementos necesarios, pudiendo recurrir a dicho organismo cualquier laboratorio que precise sus servicios.

7. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

B.S. 812/1967.

B.S. 812/Revisión, N.º 2. 15-IX-1970.

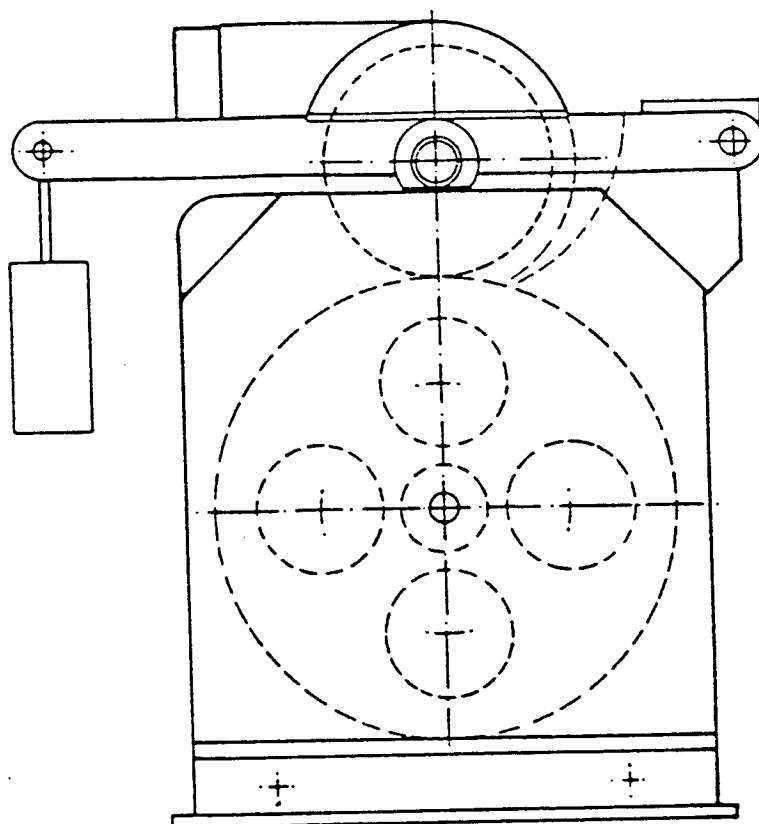


Fig. 1. — Máquina para el ensayo de pulimento de los áridos (diseñada por el R. R. L.)
(Mod. 1965).

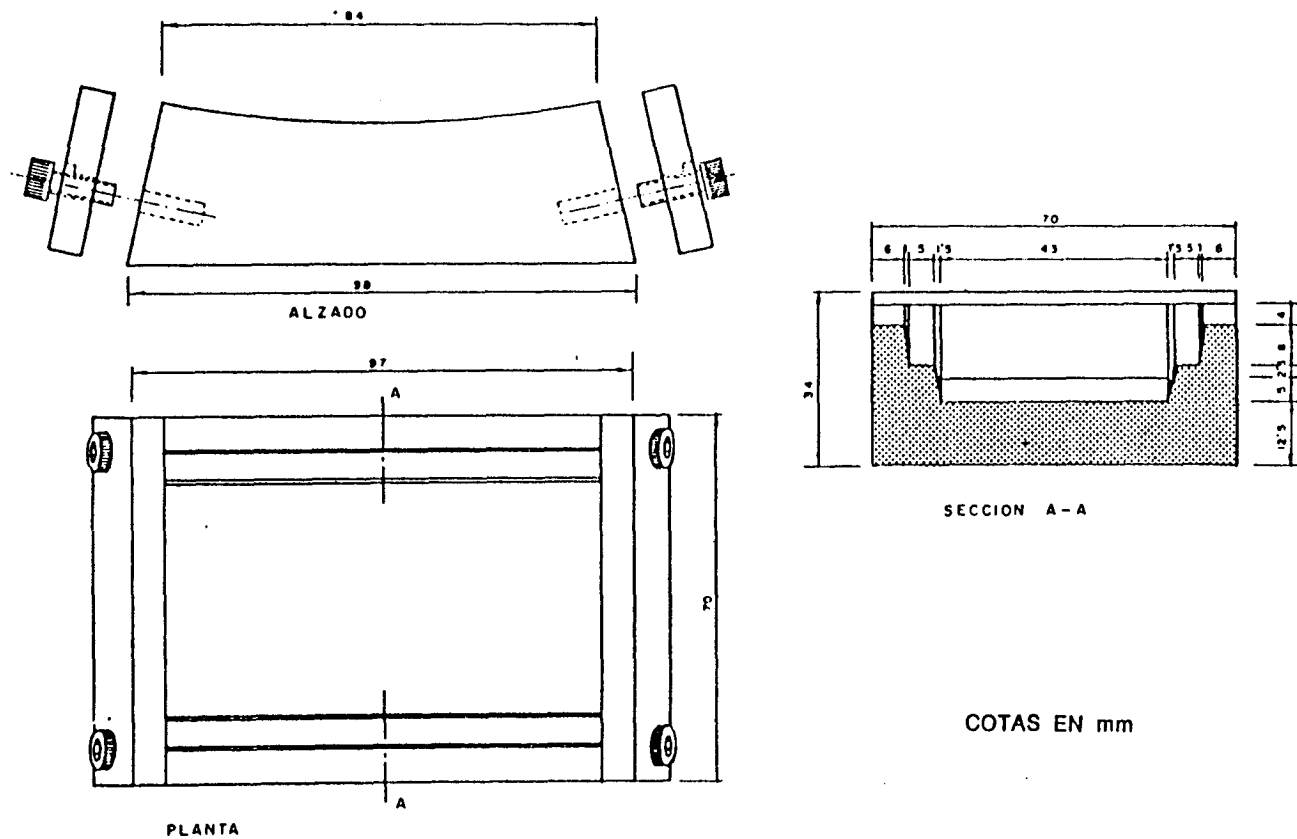


Fig. 3. — Molde para la preparación de las probetas.

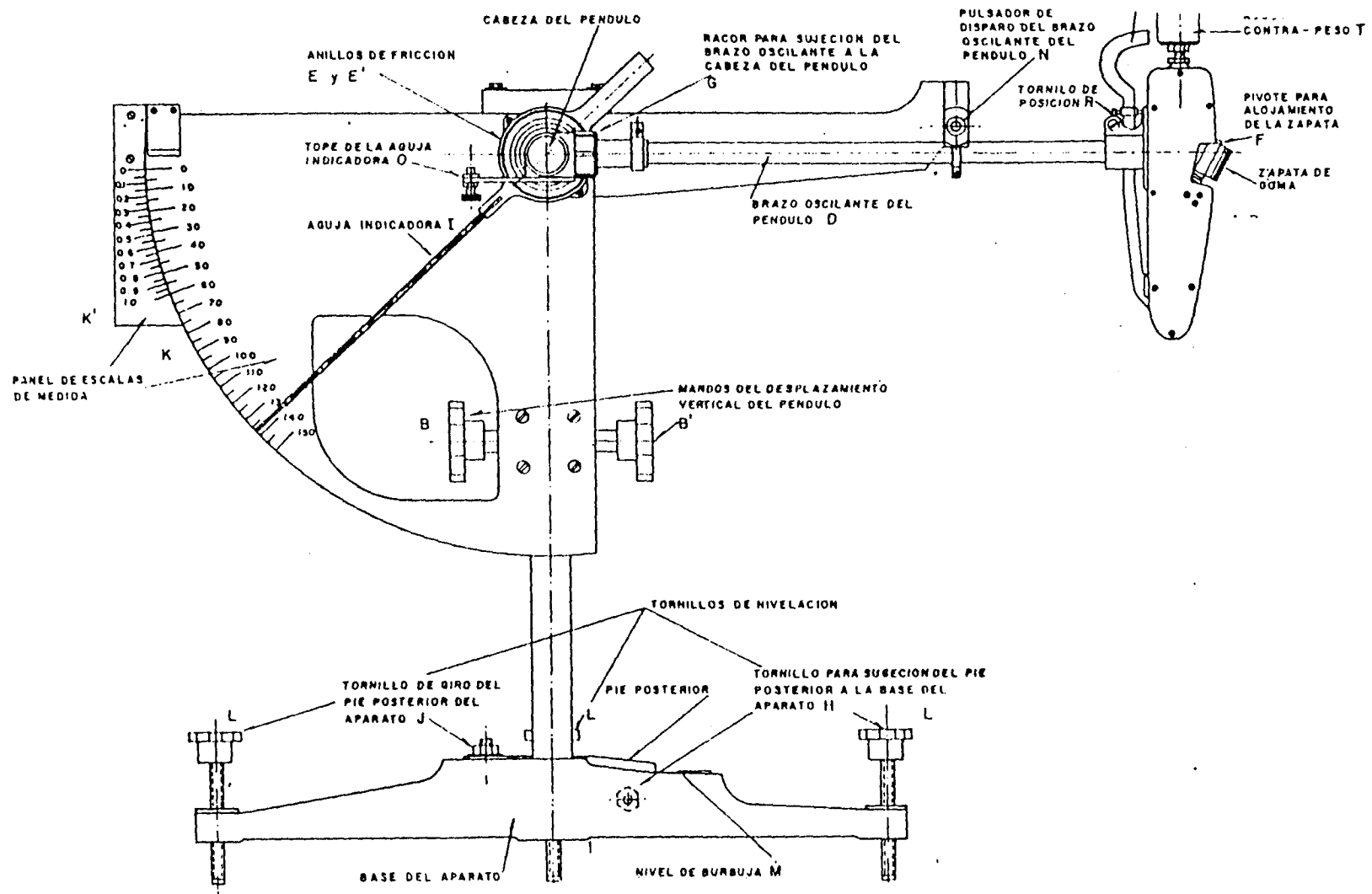


Fig. 4. — Péndulo de fricción (diseñado por el R.R.L.) para la medida del C.P.A. en el laboratorio y del C.R.D. en el campo.

NLT-175/73

Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del RRL

1. OBJETO

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse en la realización de medidas de resistencia al deslizamiento en pavimentos con el péndulo del Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester), tanto en el laboratorio como en el campo.
- 1.2. Tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de deslizamiento, valore las características antideslizantes de una superficie desde el punto de vista de un vehículo en circulación. Los valores medidos, C.R.D., representan las características antideslizantes obtenidas con los aparatos y procedimientos descritos aquí y no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de deslizamiento hechas con otros equipos.
- 1.3. El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar en una longitud fija. Esta pérdida de energía es medida por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.
- 1.4. El método de ensayo puede emplearse, también, para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre pavimentos de áridos, baldosas o cualquier tipo de muestras de superficies determinadas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

2.1. Péndulo del R.R.L.

Se empleará el aparato representado en la figura 1, desarrollado y diseñado por el Road Research Laboratory (*), cuyas características son:

(*) C. G. Giles, Barbara E. Sabay y KWF Cardeur: "Development and Performance of Portable Skid-Resistance Tester", Road Research Technical Paper No. 66, Road Research Laboratory, Dept. of Scientific and Industrial Research, England, 1964.

- 2.1.1. El péndulo propiamente tal (fig. 2, a), con la zapata y placa soporte de zapata debe pesar $1,503 \pm 0,028$ kg (3 lb, 5 on z ± 1 on z). Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 4 mm ($16,2 \pm 0,2$ "") del centro de suspensión. La circunferencia descrita por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 50,8 mm (20"). La zapata del péndulo ejercerá una presión sobre la superficie de ensayo mediante el muelle de tensión, cuya carga en el ancho de la zapata, de 76,2 mm, y en su posición media de recorrido sobre la superficie de ensayo, será de 2500 ± 100 g. La variación de tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 220 g/cm.
- 2.1.2. La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio (figura 2, b), que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo, y de manera tal, que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.
- 2.1.2.1. Las dimensiones de las zapatas de goma a emplear en medida de resistencia al deslizamiento serán (fig. 3, a), de 76,2 mm (3") de ancho, 25,4 mm (1") de longitud y 6,35 mm (1/4") de grueso. El peso del conjunto zapata y placa soporte de aluminio, será de 36 ± 7 g.
- 2.1.2.2. Características de la goma para zapatas:
Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma, con una edad de fabricación mínima de seis meses, que habrá de cumplir las especificaciones dadas en la tabla I.

TABLA I. — Especificaciones de resiliencia y dureza a cumplir por la goma para zapatas.

| Características | Temperatura (°C) | | | | |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| % de resiliencia (*) | 42-47 | 55-62 | 61-68 | 64-71 | 66-73 |
| Grados de dureza I.R.H. (**) | 55 ± 5 | | | | |

(*) El ensayo de resiliencia con el resilómetro Lüpke está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-8.

(**) El grado de dureza International Rubber Hardness está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-26.

TABLA II. — Especificaciones de composición para fabricación de goma de zapatas.

| PRODUCTO | Partes en peso |
|--|---|
| Hoja ahumada | 100 |
| Philblack A | 30 |
| ZnO | 3 |
| Acido esteárico | 2 |
| PNB (fenil-naftilamina) | 1 |
| CBS (ciclohexil-benzotiacil-sulfonamida) | 0,6 |
| Azufre | 2,5 |
| Dutrex R | 4,0 |
| Vulcanización | Plancha de 6,5 mm (1/4" = 0,01") de gruesa, 30 minutos a 141° C. |

- 2.1.2.3. Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando diez (10) oscilaciones sobre la superficie testigo en condiciones secas. Esta superficie es la "Safety-Walk" tipo B, fabricada por Minnesota de España, S. A. Las oscilaciones deben ejecutarse preparando el ensayo tal como se indica en el apartado 3.
- 2.1.2.4. Las zapatas de goma sufren un cierto desgaste al rozar con la superficie de ensayo, que depende de la rugosidad macro o microscópica de la superficie que se mide, de la temperatura alcanzada por la goma y de grado de mojado. Este desgaste da lugar a un área de contacto mayor entre zapata y superficie a medir, así como una mayor adherencia, que termina por originar en la arista de la zapata una rebaba (fig. 3, b), que también contribuye a aumentar la adherencia aunque disminuya la presión, obteniéndose así una lectura de la aguja indicadora sobre el panel de las escalas mayor de lo normal.
- En todos los casos, deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o 1,6 mm de alto (fig. 3, c).
- 2.1.3. Dispositivo de nivelación.
- El dispositivo de nivelación será del tipo de tornillo (L) acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M), para situar la columna del instrumento en posición vertical (fig. 1).

2.1.4. Dispositivo de desplazamiento vertical.

Un dispositivo que permite mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (fig. 4), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud fija de $125,7 \pm 1,3$ mm.

2.1.5. Dispositivo de disparo del brazo del péndulo.

Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) (figura 1), de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

2.1.6. Dispositivo de medida.

Un dispositivo consistente en una aguja (fig. 1), cuyo peso será de 85 g (3 onz) y su longitud 30 cm (12"), equilibrada respecto de su punto de suspensión, para indicar la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular, grabada sobre un panel, al final de su recorrido.

El sistema de fricción del mecanismo de suspensión del péndulo será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E') (fig. 5), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la posición de la aguja sea trasladada por el giro del brazo hasta un punto situado a 10,16 mm (0,4") por debajo de la horizontal que pasa por el eje de oscilación (punto "cero" de la escala de medida).

2.2. Material auxiliar.

2.2.1. Reglilla graduada: Una reglilla graduada (fig. 6), cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 1,3 mm, que fija la tolerancia permitida en la medida de la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo.

2.2.2. Termómetro: Un termómetro de mercurio con graduación en grados centígrados y escala de -10 a $+60$ °C.

2.2.3. Recipientes para agua: Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad para 10 l y el otro con capacidad para 500 cc. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de 3 mm de diámetro.

2.2.4. Utensilios para limpieza de la superficie de ensayo: Un cepillo de cerdas de goma o artificial, duras, con longitud mayor de 20 mm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm² y 80 mm de largo total, para utilizarlo en la limpieza de la superficie a medir.

2.2.5. Utensilio para situar los puntos de medida: Cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m.

2.2.6. Estuche de herramientas: Caja de diseño particular para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, reglilla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar medidas en el campo.

2.2.7. Caja de transporte: Caja especial para transportar el equipo de medida.

2.2.8. Banqueta para asiento del operador al realizar medidas en el campo.

3. MONTAJE DEL APARATO

- 3.1. Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte. Se coloca en posición adecuada el pie posterior de la base, haciéndolo girar sobre el tornillo (J) (fig. 1), sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).
- 3.2. Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, a la derecha.
- 3.3. En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una arandela y un pasador.
- 3.4. A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo balancee sin rozar la superficie a medir. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C) fijada en la parte posterior de la columna vertical y un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B') (fig. 4). La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).
- 3.5. El paso siguiente será la comprobación del "cero" sobre la escala del aparato. Para ello se llevará el brazo oscilante a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N) (fig. 1). Después se trasladará la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo oscilante. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre aguja y brazo oscilante. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se disparará el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia adelante. Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo oscilante a su posición inicial de disparo (nota 2). La corrección de la lectura del "cero" se realizará mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E') (figuras 1 y 5). Si la aguja sobrepasa el "cero" de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja no alcanza el "cero" de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (E y E') (nota 3).

Nota 2.— Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, al objeto de que no arrastre la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y, cuando se

realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 3. — En la comprobación del "cero" del aparato se harán los disparos y las correcciones con los anillos de fricción necesarios, hasta que la aguja marque en tres veces consecutivos la lectura "cero".

- 3.6. Por último, se comprobará la longitud de rozamiento de la zapata de goma sobre la superficie a medir. Esta operación se efectuará manteniendo la cabeza del aparato en la situación anterior, colocando el brazo oscilante (D) libre y en su vertical. Se colocará la galga (sujeta con una cadenilla en la base del aparato) bajo el tornillo de posición (R) de la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se bajará entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo oscilante de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fijará ahora la cabeza del aparato en esta situación por medio del tornillo (A), quitándose después la galga. Haciendo oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata roce justamente la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro lado de la vertical, la longitud de rozamiento será la distancia entre los dos puntos de contacto (S y S') (fig. 2, a), en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, para medidas de resistencia al deslizamiento será de $125,7 \pm 1,3$ mm, que se comprueba utilizando la reglilla (fig. 6) descrita en el apartado 2.2.1. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se podrá efectuar mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.
- 3.7. Una vez montado el aparato, comprobada la medida del "cero" y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se colocará el brazo oscilante y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo, procediéndose en este momento a la ejecución de las medidas de ensayo.

4. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

4.1. Procedimiento operatorio a seguir en el campo.

Para efectuar la medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) que presenta un pavimento, bien antes de ser sometido a la acción del tráfico, bien para controlar la evolución del pavimento en diferentes periodos de su vida de servicio, deberá operarse siguiendo las instrucciones que se especifican a continuación:

- 4.1.1. Se procederá, en primer lugar, a la inspección del pavimento de la carretera objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos que no

superen los mil metros (1000 m), comportando características idénticas en toda su longitud. Dentro de cada tramo se elegirá una zona, y en ésta, de tres (3) a diez (10) secciones transversales separadas por una longitud de 5 a 10 m.

- 4.1.2. Se elegirá una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijarán puntos de ensayo en las rodadas, cumbre del bombeo o centro de la calzada y a 20 cm del borde de la calzada (fig. 7). También podrán elegirse puntos de ensayos entre rodadas o cualesquiera otros que se sospeche puedan tener carácter deslizante.
- 4.1.3. El péndulo, una vez montado como se indica en el apartado 3.1, se colocará sobre el pavimento y se procederá a su nivelación tal como se especifica en el apartado 3.2.

Nota 4.— Cuando el péndulo de fricción no haya sido utilizado en las ocho horas (8) anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier ciclo de medidas se realizarán cinco (5) disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tráfico.

- 4.1.4. Comprobado el "cero" del aparato, como se indica en el apartado 3.5, se ajustará la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud de $125,7 \pm 1,3$ mm ($4,95'' \pm 0,05''$), tal como se especifica en el apartado 3.6.
- 4.1.5. La superficie de pavimento a ensayar se limpiará ayudándose con el cepillo que se indica en el apartado 2.2.4, asegurándose de que quede libre de partículas sueltas.
- 4.1.6. Se medirá la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando en su proximidad sobre el pavimento y a la sombra el termómetro descrito en el apartado 2.2.2. Asimismo se comprobará la temperatura del agua, cuyo recipiente deberá estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.
- 4.1.7. Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedecerá la zapata con abundante agua limpia y se mojará la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose del cepillo descrito en el apartado 2.2.4.
- 4.1.8. Se procederá entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo y la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando el número entero más próximo.

Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se volverán a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la nota 2.

La medida se repetirá cinco (5) veces sobre cada punto de pavimentos a ensayar y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar la superficie de ensayo antes de cada

disparo con agua a la temperatura ambiente. Si las lecturas de las cinco (5) medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anotará el valor medio resultante. Si la diferencia entre las cinco (5) lecturas es mayor de tres (3) unidades, se continuará realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se tomará esta última como valor efectivo del punto ensayado sobre el pavimento.

5. RESULTADOS

5.1. Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos.

- 5.1.1. La lectura del valor marcado por la aguja en la escala "K" del instrumento al realizar las medidas de ensayo, se efectuará con una aproximación de 0,5 unidades y redondeando el número entero más próximo.
- 5.1.2. Los resultados de las medidas realizadas sobre un punto del pavimento ensayado será el valor medio de las cinco (5) lecturas efectuadas si no difieren en más de tres unidades (3), o el valor de tres (3) lecturas idénticas consecutivas (ver apartado 4.1.8).
- 5.1.3. Las medidas efectuadas sobre pavimentos son siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad del valor de las medidas a realizar, bajo cualesquiera condiciones climatológicas, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la figura 8, para poder dar los resultados del ensayo a 20 °C.
- 5.1.4. El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento de carretera, será expresado especificando los valores obtenidos en cada uno de los tramos independientemente, de acuerdo con la distribución estipulada en el apartado 4.1.1.
- 5.1.5. Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo, serán expresadas por tres (3) valores, correspondientes, cada uno, a "bordes", "rodada" y "centro" de la calzada (fig. 9). Serán considerados "bordes" la superficie del arcén y hasta 50 cm hacia el interior de la calzada; "centro", las bandas de 50 cm de anchura existentes a cada lado de las líneas de carril o de separación de sentido de circulación; "rodadas", el resto de la calzada de una carretera.
- Cada uno de los tres (3) valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.
- 5.1.6. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresará en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coefic. de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.)} = \frac{\text{lecturas en la escala K}}{100}$$

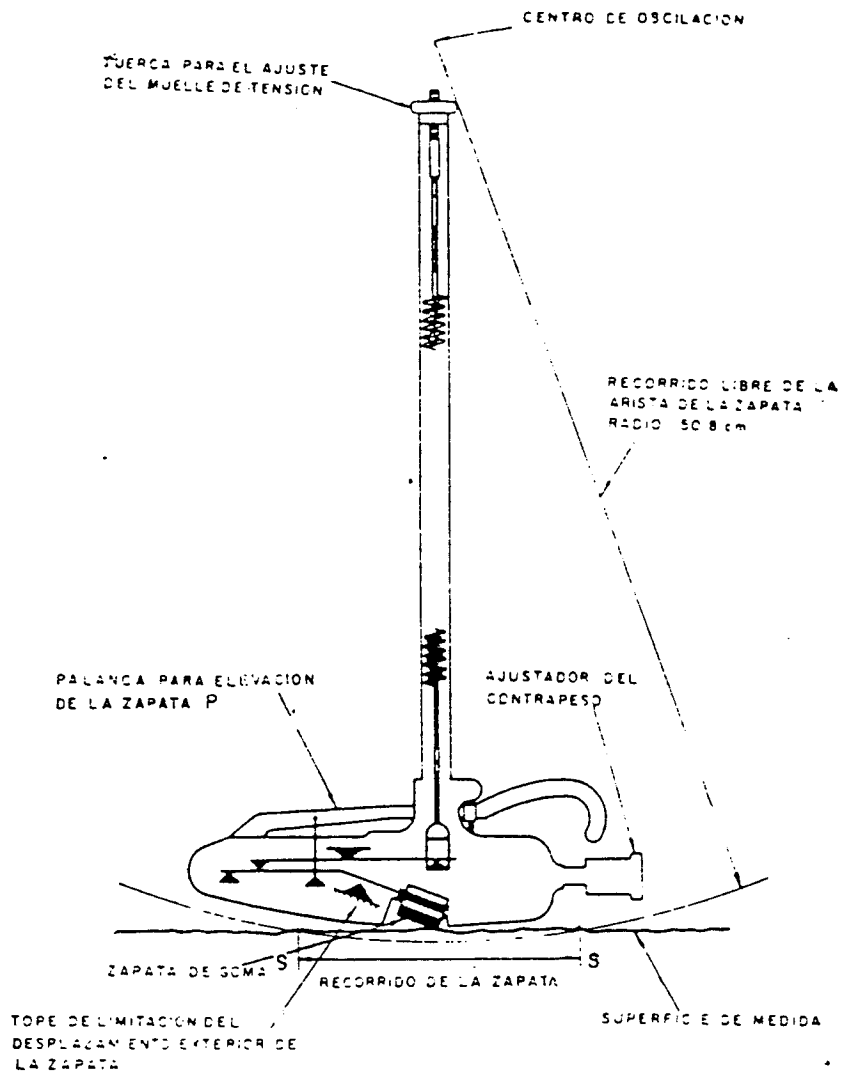


Fig. 2, a. — Detalle del brazo del péndulo.

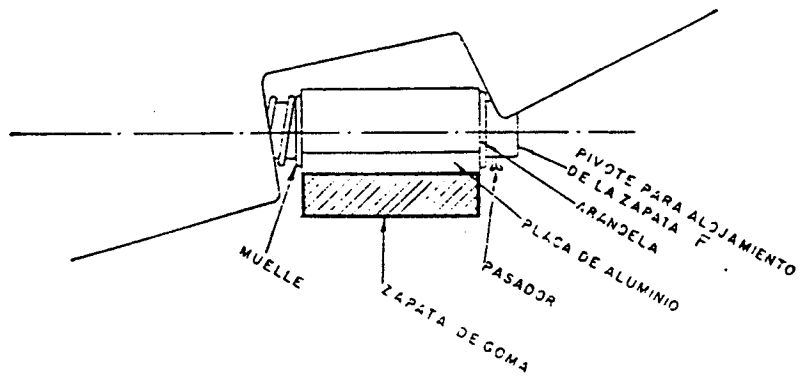
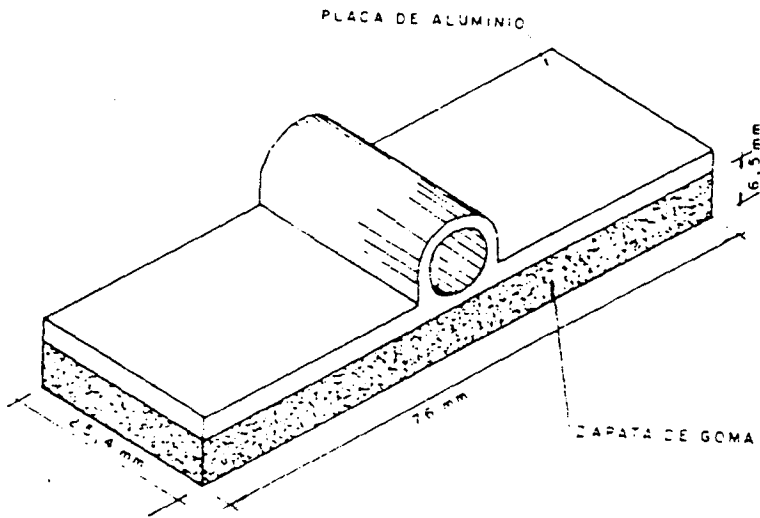


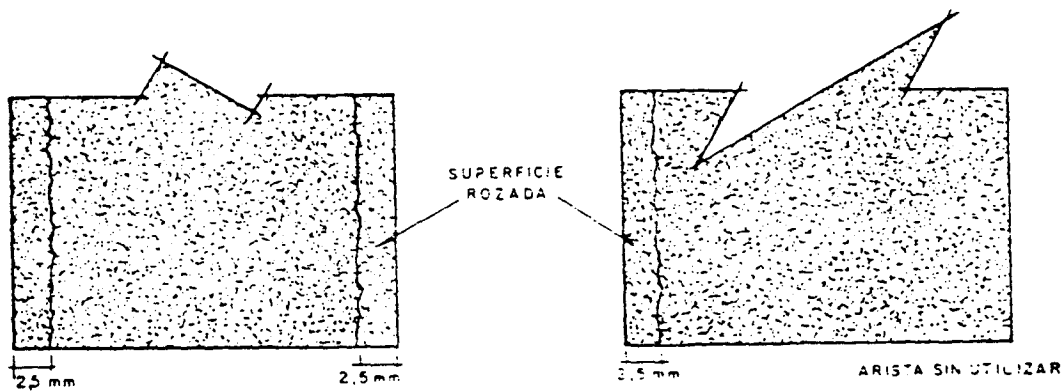
Fig. 2, b. — Detalle de la disposición de la zapata de goma.



a) Zapata para medidas sobre pavimentos.



b) Detalle de la formación de rebabas en las zapatas.



c) Detalle de la superficie rozada sobre la zapata.

Fig. 3. — Zapatas de goma.

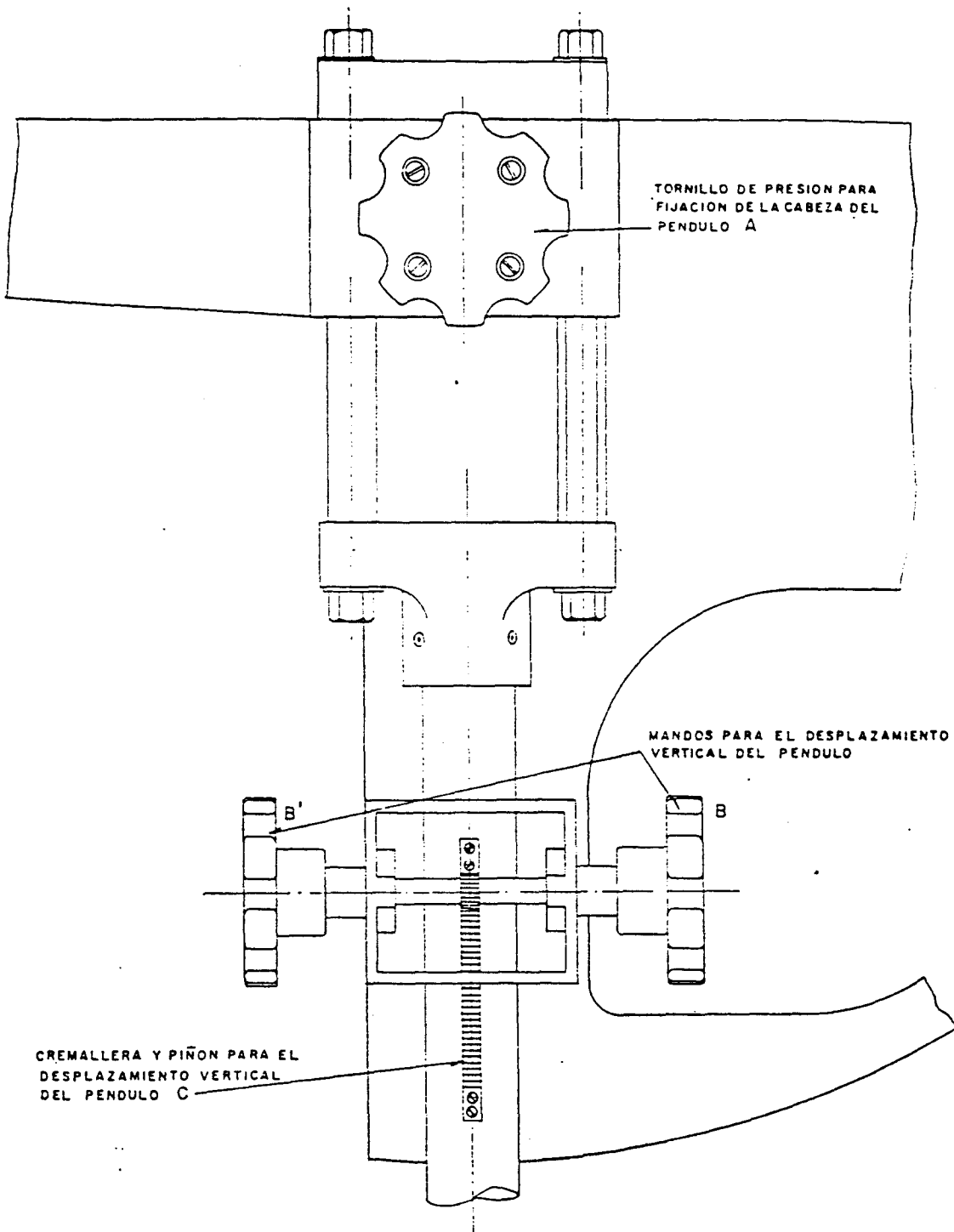


Fig. 4. — Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.

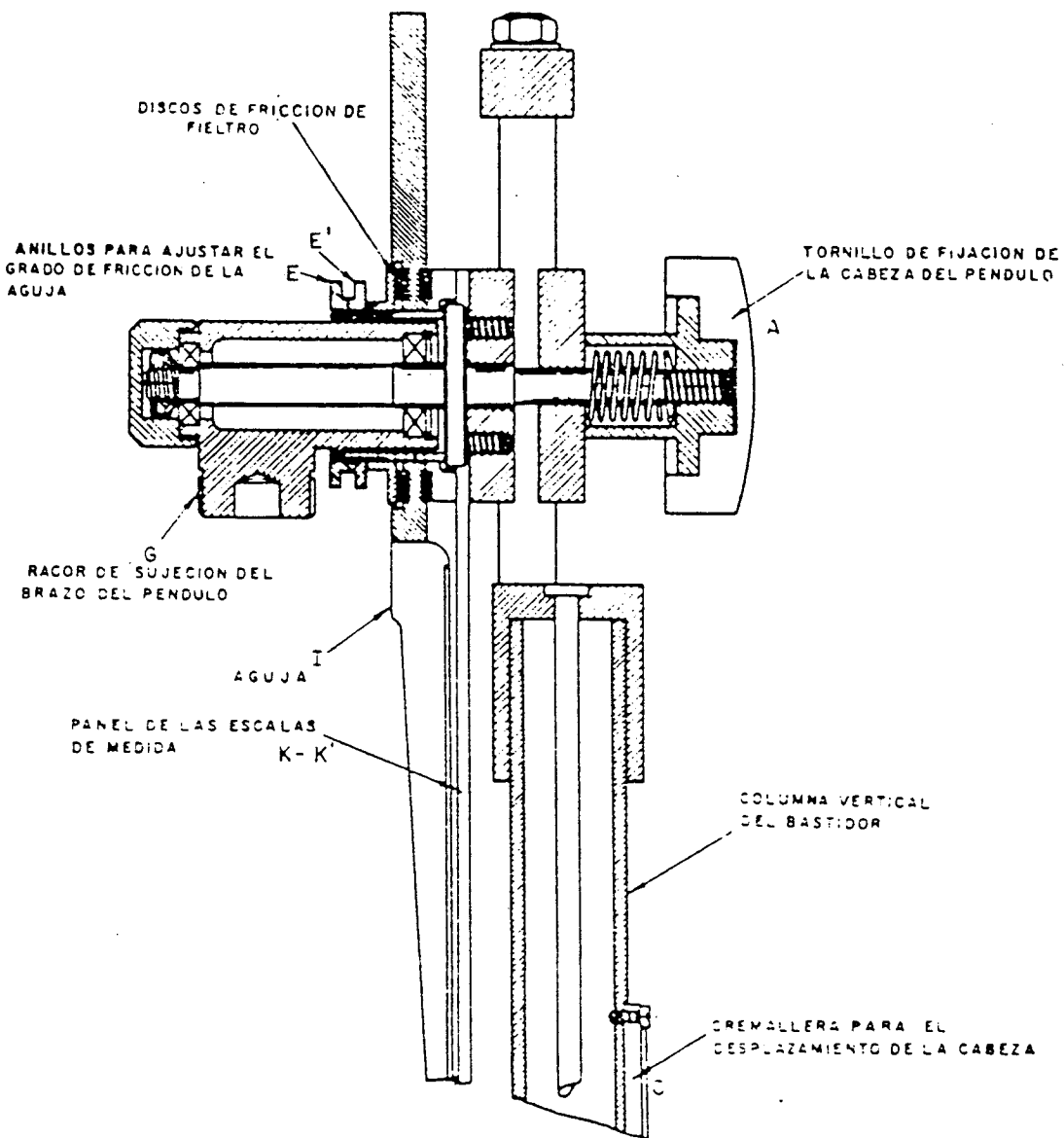


Fig. 5. — Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.

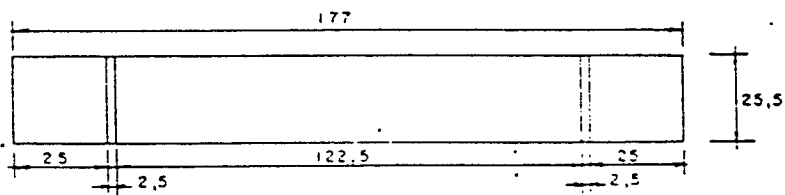


Fig. 6. — Reglilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.

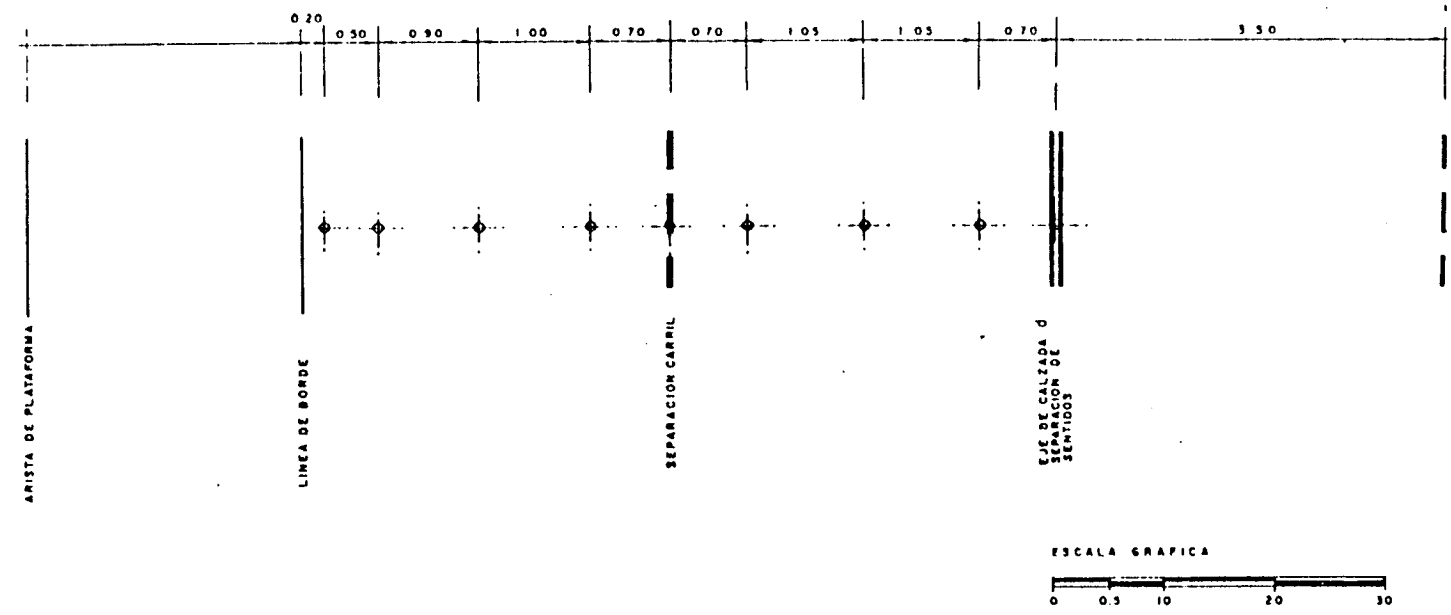


Fig. 7. — Ejemplo de distribución transversal de puntos de ensayo sobre pavimentos de carreteras.

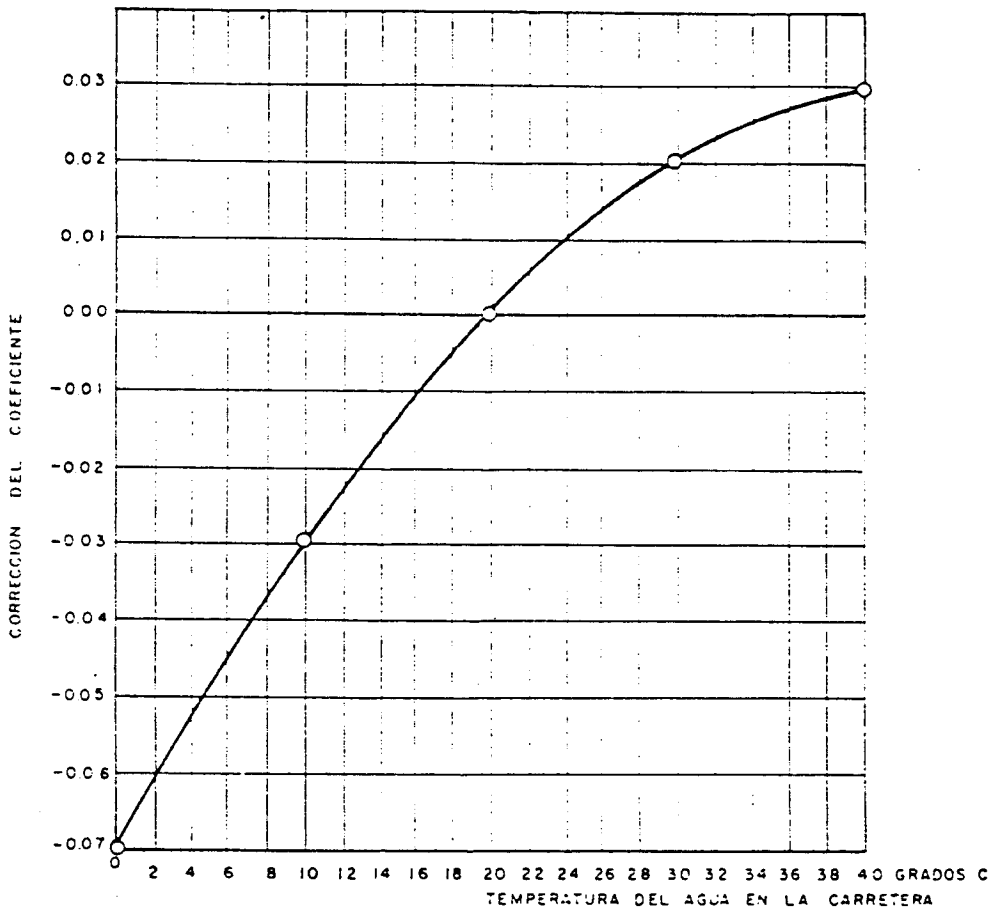


Fig. 8. — Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C (RRL Note no fn 3931/bes).

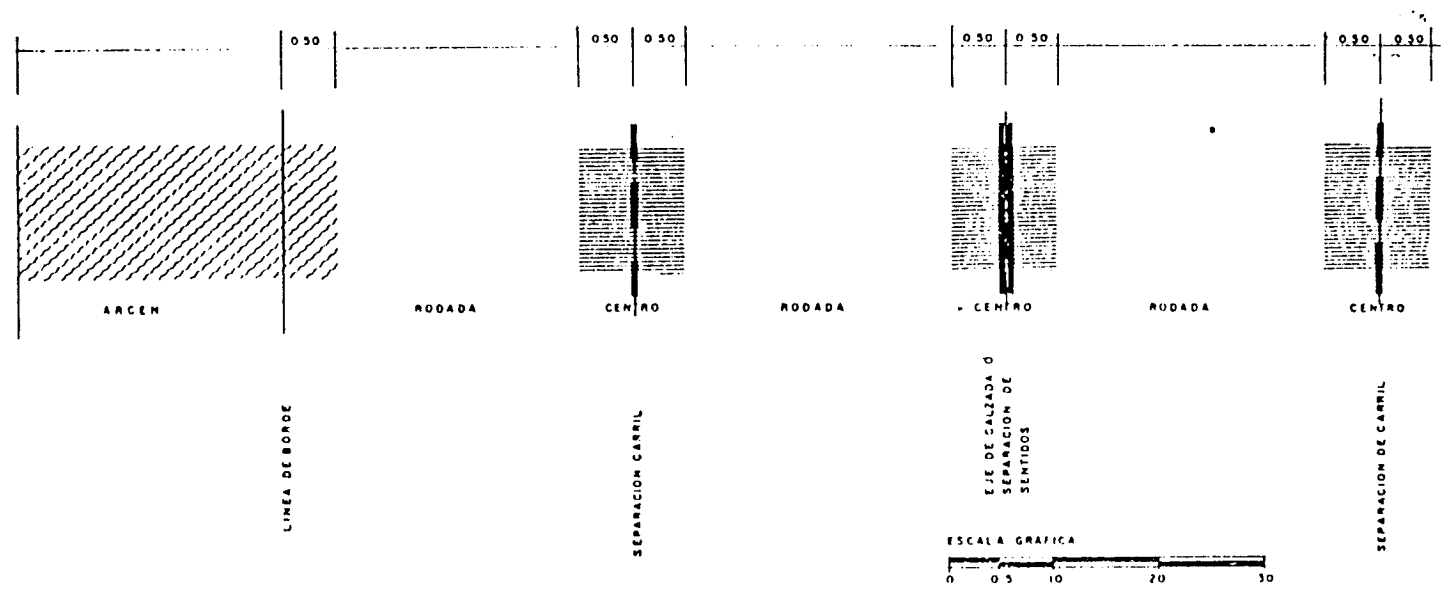


Fig. 9. — Bandas consideradas para la expresión de los resultados.

NLT-176/74

Densidad aparente del filler en tolueno

1. OBJETO

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la densidad aparente de un filler por sedimentación, empleando como medio líquido el tolueno.
- 1.2. La densidad aparente determinada en estas condiciones es una medida relativa del grado de finura del filler ensayado.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Probetas graduadas, con tapón de vidrio esmerilado, de una capacidad de 50 cm³, de unos 190 mm de longitud y unos 25 mm de diámetro interior calibrados en centímetros cúbicos.
- 2.2. Balanza con una capacidad de 100 g y una precisión de 0,01 g.
- 2.3. Estufa de desecación regulada termostáticamente a $110 \pm 0,5$ °C.
- 2.4. Desecador.
- 2.5. Tolueno R.A.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Se seca el filler durante 4 horas en una estufa a una temperatura de $110 \pm 0,5$ °C y se deja enfriar a continuación en un desecador.
- 3.2. Se pesan 10 g de filler con una precisión de $\pm 0,01$ g y se introducen en la probeta, la cual se llena hasta la mitad con tolueno, previamente desecado con cloruro cálcico durante 24 horas como mínimo.
- 3.3. Se tapa la probeta y se agita hasta que todas las partículas queden mojadas. Se añade más tolueno, hasta que su nivel quede a unos 40 mm de la parte superior útil de la probeta, y se agita de nuevo.
- 3.4. Hay que conseguir mediante la agitación que todas las partículas del filler queden en suspensión antes de dejarlas sedimentar, para lo cual, inmediatamente después de la última agitación, se realiza la operación siguiente:
- 3.5. Se invierte la probeta y se mantiene en esta posición hasta que todas

las burbujas de aire ocluido hayan atravesado la longitud total de la probeta. Inmediatamente se vuelve la probeta a su posición original, manteniéndola en esta posición hasta que todas las burbujas de aire vuelvan a la parte superior. Este ciclo de operaciones se repite 5 veces en rápida sucesión y, a continuación, se deja la probeta sobre una superficie libre de vibraciones durante 6 horas, por lo menos, antes de leer el volumen de sedimentación, V .

4. RESULTADOS

4.1. Cálculos.

4.1.1. La densidad aparente del filler se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{10}{V} \text{ g/cm}^3$$

donde V es el volumen aparente de filler

4.2. Precisión.

4.2.1. Se realizan por lo menos tres determinaciones empleando cada vez una nueva porción de filler, y si alguno de los valores difiere en más de $0,5 \text{ g/cm}^3$ del valor medio, se prescinde de este resultado y se realizan otras dos nuevas determinaciones.

4.3. Expresión de los resultados.

4.3.1. El valor medio de los ensayos realizados, expresado con aproximación de $0,1 \text{ g/cm}^3$, es el resultado de la densidad aparente del filler en tolueno.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

B.S. 812. Subsección 4B, 1967.

NLT-354/74**Indice de lajas y de agujas de los áridos para carreteras****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación del índice de lajas y del índice de agujas, de los áridos a emplear en la construcción de carreteras.
- 1.2. De acuerdo con este método, se define como índice de lajas de una fracción de árido el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (grosor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción.
- 1.3. Se define como índice de agujas de una fracción de árido el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción.
- 1.4. Este método no es aplicable a las fracciones del árido con tamaño inferior a 6,5 mm.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Calibres. — Dos juegos de calibres metálicos, uno de ranuras (calibre de grosores) y otro de barras (calibre de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las figuras 1 y 2.
- 2.2. Tamices. — Los tamices a utilizar en esta norma serán los indicados en la tabla I y cumplirán la norma UNE 7050 (A.S.T.M. D: E 11-70).
- 2.3. Balanza. — La balanza tendrá una sensibilidad del 0,5 por 100 de la masa de la muestra de áridos a ensayar.
- 2.4. Material auxiliar. — Cuarteador de áridos, bandejas, cogedor metálico, etc.

3. PROCEDIMIENTO

- 3.1. Preparación de la muestra.
 - 3.1.1. Del material recibido en el laboratorio, se separará por cuarteo una muestra representativa en cantidad suficiente para la realización del ensayo.
 - 3.1.2. Una vez así separada la muestra para ensayo, se procederá a determinar su análisis granulométrico de acuerdo con la norma NLT-150/72 y los tamices indicados en la tabla I. El porcentaje de la masa retenida entre cada dos tamices sucesivos de la serie se denomina R_i , siendo i el tamiz de abertura menor.

TABLA I

| Dimensiones de los calibres para grosor y longitud | | | | | |
|--|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|--|
| Fracciones del árido | | | | Calibre (*) de grosor | Calibre (**) de longitud |
| Cernido por el tamiz | | Retenido por el tamiz | | Abertura de la ranura (mm) | Separación de las barras (mm) |
| UNE (mm) | A.S.T.M. (pulgadas) | UNE (mm) | A.S.T.M. (pulgadas) | | |
| 63 | 2 1/2 | 50 | 2 | 34,29 | — |
| 50 | 2 | 40 | 1 1/2 | 26,67 | 80,0 |
| 40 | 1 1/2 | 25 | 1 | 19,05 | 57,2 |
| 25 | 1 | 20 | 3/4 | 13,34 | 39,9 |
| 20 | 3/4 | 12,5 | 1/2 | 9,53 | 28,5 |
| 12,5 | 1/2 | 10 | 3/8 | 6,68 | 20,1 |
| 10 | 3/8 | 6,3 | 1/4 | 4,78 | 14,2 |

(*) Esta dimensión es igual a 0,6 veces la media de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

(**) Esta dimensión es igual a 1,8 veces la media de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

3.1.3. A continuación, previo cuarteo, se separan por tamizado las distintas fracciones de la muestra a ensayar, tal como se indica en la tabla I.

Las fracciones del árido cuyo porcentaje sea inferior al 5 por 100 de la muestra no se ensayan.

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra esté comprendido entre el 5 y el 15 por 100 se tomarán un mínimo de 100 partículas, determinando su masa, M_i , en la balanza con aproximación del 0,5 por 100.

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra sea superior al 15 por 100 se tomarán un mínimo de 200 partículas, determinando su masa, M_i , en la balanza con aproximación del 0,5 por 100.

3.2. Ejecución del ensayo.

3.2.1. Para separar el material lajoso de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el apartado 3.1, se hace pasar cada partícula en el calibre de grosores por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya de acuerdo con la tabla I.

- 3.2.2. La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa (M_{1i}) con aproximación del 0.5 por 100 de la masa total de la muestra de ensayo.
- 3.2.3. Para separar el material con forma de agujas de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el apartado 3.1, se hace pasar cada partícula en el calibre de longitudes por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya de acuerdo con la tabla I.
- 3.2.4. La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa entre las dos barras correspondientes, se pesa (M_{2i}) con aproximación del 0.5 por 100 de la masa total de la muestra de ensayo.

4. RESULTADOS

4.1. Cálculos.

- 4.1.1. El índice de lajas de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre la masa de las partículas, M_{1i} , que pasa a través de la correspondiente ranura y la masa inicial, M_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de lajas de la fracción } (I_{1i}) = \frac{M_{1i}}{M_i} \times 100$$

- 4.1.2. El índice de agujas de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre la masa de las partículas, M_{2i} , que pasa a través de las correspondientes barras y la masa inicial, M_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de agujas de la fracción } (I_{2i}) = \frac{M_{2i}}{M_i} \times 100$$

- 4.1.3. El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de lajas como del porcentaje de agujas, se redondeará al número entero más próximo.
- 4.2. Expresión de los resultados.
- 4.2.1. Los resultados obtenidos mediante esta norma pueden expresarse para cada fracción ensayada o para el total de la muestra.
- 4.2.2. La expresión de los índices de lajas y agujas de cada fracción serán los obtenidos directamente en el ensayo, según se indica en los apartados 4.1.1 y 4.1.2, indicando expresamente la fracción ensayada.
- 4.2.3. Para expresar los índices de lajas y agujas totales se calcula la media ponderada de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , e indicando la granulometría de la muestra.

Estos índices totales pueden obtenerse también aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de lajas} = \frac{\sum I_{li} \cdot R_i}{\sum R_i} \times 100$$

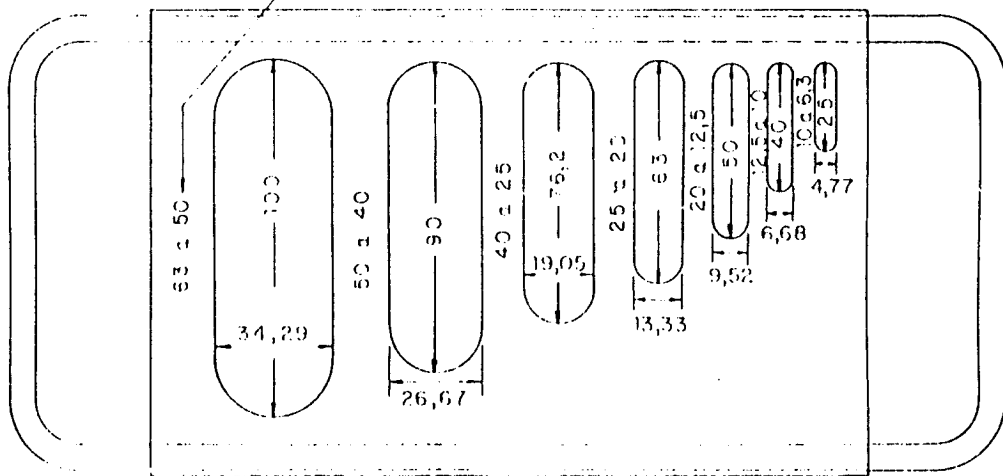
$$\text{Índice de agujas} = \frac{\sum I_{ai} \cdot R_i}{\sum R_i} \times 100$$

indicando i las fracciones ensayadas.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

B.S. 812-1967, apartados 15 y 16.

ESTOS NÚMEROS DEBEN IR
MARCADOS EN EL CALIBRE



COTAS EN mm

Fig. 1. — Calibre de grosoros.

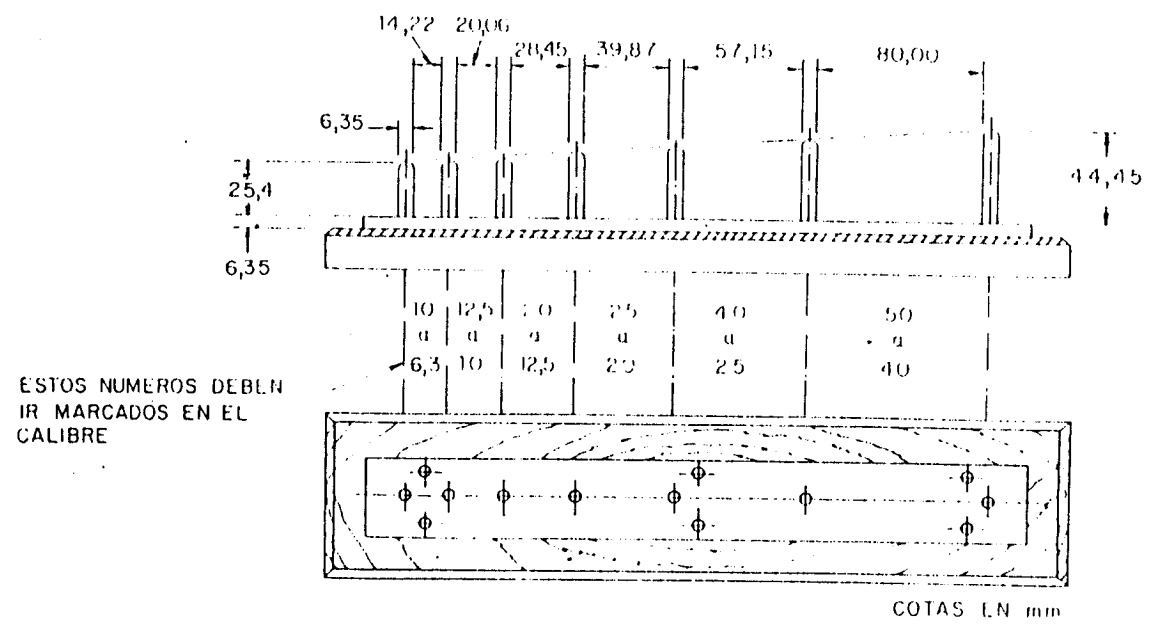


Fig. 2. — Calibre de longitudes.

NLT-355/74**Adhesividad a los áridos finos de los ligantes bituminosos
(procedimiento Riedel-Weber)****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos respecto de una arena, natural o de machaqueo, cuando la mezcla árido-ligante se somete a la acción de soluciones de carbonato sódico de concentraciones crecientes.
- 1.2. Este método puede aplicarse a todos los ligantes bituminosos, betunes de penetración, betunes fluidificados, alquitranes y emulsiones bituminosas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

- 2.1. Tubos de ensayo. — Doce tubos de ensayo de unos 20 mm de diámetro y unos 200 mm de altura.
- 2.2. Tamices. — Dos tamices con malla de abertura cuadrada, que estén de acuerdo con las especificaciones de la norma UNE 7.050 (A.S.T.M. D: E 11-70). Los tamices necesarios son los siguientes:
 - Tamiz 0,63 UNE (A.S.T.M. núm. 30)
 - Tamiz 0,20 UNE (A.S.T.M. núm. 70)
- 2.3. Balanza. — La balanza tendrá una sensibilidad del 0,1 por 100 respecto de la masa de la muestra de ensayo.
- 2.4. Estufa. — La estufa estará provista de dispositivo de termostatación y de circulación forzada de aire, y será capaz de mantener la temperatura a 145 ± 5 °C.
- 2.5. Material auxiliar. — Cuarteador de áridos, cazo de porcelana, gradilla metálica para tubos de ensayo, vasos de cristal de 50 cm³, pinza de madera, varillas de cristal, etc.

3. SOLUCIONES NECESARIAS

- 3.1. Las soluciones de carbonato sódico necesarias para el ensayo serán de concentración creciente, desde M/256 para la más diluida, hasta M/1 para la más concentrada.

- 3.2. Las soluciones se prepararán con carbonato sódico puro, anhidro y agua destilada. La concentración molar, M/1, se obtendrá disolviendo 106 g de carbonato sódico en agua destilada hasta un volumen de 1 litro. Las soluciones de concentración molar M/2, M/4, M/8, etc., se obtendrán diluyendo la solución precedente, o disolviendo la cantidad correspondiente de carbonato sódico en 1 litro de agua destilada, tal como se indica en la tabla I siguiente:

TABLA I

Soluciones de ensayo

| | | |
|---------|-----------|---------------------------------|
| M/256 = | 0,414 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/128 = | 0,828 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/64 = | 1,656 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/32 = | 3,312 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/16 = | 6,625 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/8 = | 13,25 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/4 = | 26,5 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/2 = | 53,0 g/l | CO ₃ Na ₂ |
| M/1 = | 106,0 g/l | CO ₃ Na ₂ |

4. PROCEDIMIENTO

4.1. Preparación del árido.

- 4.1.1. Cuando la muestra de árido recibida en el laboratorio proceda de piedra de cantera o todo uno de gravera, se procede a su cuarteo y posterior machaqueo hasta obtener una arena de dicho material.
- 4.1.2. Si la muestra de árido recibida en el laboratorio es una arena natural o una arena de machaqueo, se separa por sucesivos cuarteos el material necesario para el ensayo.
- 4.1.3. Tanto si el árido es suministrado al laboratorio en las condiciones del apartado 4.1.1 como en las del apartado 4.1.2, la cantidad aproximada de árido fino necesaria para el ensayo, separada por cuarteo, será de unos 200 g.
- 4.1.4. A continuación, la cantidad de muestra obtenida como se indica en el apartado 4.1.3 se tamiza por los tamices 0,63 y 0,20 UNE, despreciando el material inferior a 0,2 mm. La totalidad del material cernido por el tamiz 0,63 UNE y retenido por el tamiz 0,20 UNE se recoge como material de ensayo.
- 4.1.5. La fracción de material 0,2-0,6 mm así obtenida se lava para eliminar totalmente el polvo que pueda contener; seguidamente se seca en estufa a la temperatura de 145 ± 5 °C, durante 1 hora.

4.2. Preparación de la mezcla árido-ligante.

- 4.2.1. Cuando el ligante bituminoso a emplear en el ensayo sea betún de penetración, betún fluidificado o alquitrán, la mezcla se preparará en la proporción de 71 volúmenes de árido (0,2-0,6 mm) por 29 volúmenes de ligante.
- 4.2.2. La mezcla del árido con los betunes asfálticos se realiza a la temperatura de 150 °C. La mezcla del árido con los betunes fluidificados y con los alquitranes se realiza a la temperatura de 70 °C.
- 4.2.3. La mezcla árido-ligante se realiza en un cacillo de porcelana, calentado a las temperaturas indicadas, en el que se agregan la cantidad de árido y ligante correspondientes, agitándose con una varilla de cristal ambos materiales hasta conseguir una masa perfectamente homogénea; una vez preparada la mezcla, se deja enfriar durante 1 hora a temperatura ambiente sin tapar el cacillo de porcelana.
- 4.2.4. Cuando el ligante a emplear en el ensayo sea emulsión bituminosa, la mezcla será preparada en la proporción de 71 volúmenes de árido (0,2-0,6 mm) por 95 volúmenes de emulsión al 50 por 100.
- 4.2.5. La mezcla del árido con emulsión bituminosa se realiza en frío, a la temperatura ambiente, siguiendo el procedimiento indicado en el apartado 4.2.3. Una hora después de preparada la mezcla, se decanta el líquido en exceso y se deja en reposo durante 24 horas sin tapar el cacillo de porcelana.

4.3. Ejecución del ensayo.

- 4.3.1. De la mezcla árido-ligante, preparada como se indica en el apartado 4.2, se pesan en la balanza 10 porciones de 0,5 g de masa cada una, con aproximación de 0,01 g.
- 4.3.2. Cada una de las porciones de mezcla se introduce en un tubo de ensayo. Los tubos de ensayo se numeran correlativamente del cero al diez.
- 4.3.3. A continuación, en el tubo de ensayo marcado con el número cero y sobre los 0,5 g de la mezcla árido-ligante, se vierten 6 cm³ de agua destilada, marcando la altura que alcanzan en el tubo. Se sujeta el tubo de ensayo con la pinza de madera y se calienta cuidadosamente sobre la llama del mechero de gas hasta ebullición suave del líquido, que se prolonga durante 1 minuto.
- 4.3.4. Terminado el período de ebullición, se reemplaza el volumen de líquido perdido por evaporación con nueva cantidad de agua destilada, decantándola cuidadosamente en el tubo de ensayo, hasta alcanzar la línea marcada en el tubo. Una vez reemplazado el volumen de agua destilada, se agita el tubo con su contenido, vigorosamente, durante 10 segundos.
- 4.3.5. Seguidamente se procede a la observación del aspecto que ofrece la mezcla árido-ligante en el tubo de ensayo, de acuerdo con los siguientes criterios:

-
- a) El desplazamiento entre el ligante y el árido se considera total cuando prácticamente todos los granos de la arena aparecen limpios; esto puede comprobarse porque los granos están sueltos o porque, al hacer rodar entre los dedos el tubo de ensayo, los granos de arena siguen libremente la rotación imprimida al tubo (nota 1).

Nota 1. — Para ello, se puede utilizar como prueba patrón un tubo de ensayo con árido sin ligante, conteniendo 5 ó 6 cm³ de agua destilada, y comparar su aspecto o movimiento al rodar el tubo de ensayo entre los dedos.

- b) El desplazamiento entre el ligante y el árido se considera parcial cuando los granos de arena aparecen semilimpios, manteniendo una cierta cohesión entre ellos; en este caso, los granos de arena todavía envueltos por el ligante permanecen aglomerados en el fondo del tubo de ensayo.
- c) Para la apreciación de la adhesividad de una mezcla árido-ligante, después de actuar sobre ella cada solución de ensayo, no se tendrá en cuenta el ligante que aparezca en la superficie del líquido durante la ebullición; sólo debe ser tenido en cuenta el aspecto que ofrezca la masa de mezcla que queda en el fondo del tubo.
- 4.3.6. Cuando la prueba preliminar, realizada como se indica en los apartados 4.3.3, 4.3.4 y 4.3.5, muestra que la adhesividad de la mezcla árido-ligante es buena, es decir, que no hay desplazamiento total de los granos de arena por el agua destilada, se vuelve a repetir todo el proceso indicado en los anteriores apartados, utilizando ahora el tubo de ensayo marcado con el número 1, vertiendo sobre él 6 cm³ de la solución de carbonato sódico de concentración M/256; se repiten las operaciones indicadas en los apartados 4.3.3 y 4.3.4 y, finalmente, se comprueba si se ha producido desplazamiento total en la forma que se indica en el apartado 4.3.5.
- 4.3.7. Si el desplazamiento es sólo parcial, vuelve a repetirse todo el proceso, tal como se indica en los anteriores apartados 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5 y 4.3.6, pero utilizando ahora el tubo de ensayo marcado con el número 2. Se prosigue en esta forma, utilizando las soluciones de carbonato sódico de concentraciones crecientes M/128, M/64, M/32, etc., y los tubos de ensayo marcados con los números 2, 3, 4, etc., que sean necesarias hasta alcanzar el desplazamiento total del árido.

5. RESULTADOS

5.1. Expresión de los resultados.

- 5.1.1. Se expresa como índice de adhesividad (Riedel-Weber) el número correspondiente a la menor de las concentraciones ensayadas con

la que se produce un desplazamiento total del ligante bituminoso de la superficie del árido, de acuerdo con la tabla II siguiente:

TABLA II

| Solución de ensayo | Índice de adhesividad |
|---|-----------------------|
| 0 | 0 |
| M/256 | 1 |
| M/128 | 2 |
| M/64 | 3 |
| M/32 | 4 |
| M/16 | 5 |
| M/8 | 6 |
| M/4 | 7 |
| M/2 | 8 |
| M/1 | 9 |
| Si no hay desplazamiento total con la solución 9. | 10 |

- 5.1.2. Si con alguna concentración inferior a la indicada en el apartado 5.1.1. se produce desplazamiento parcial del ligante bituminoso, se expresará la adhesividad con dos números: el correspondiente a la concentración menor con la que se produce algún desplazamiento y el que produce el desplazamiento total de acuerdo con el apartado 5.1.1.
- 5.1.3. Cuando el agua destilada produce desplazamiento total del ligante bituminoso, el índice de adhesividad es 0.
- 5.1.4. Cuando la solución molar de carbonato sódico M/1 no produce desplazamiento del ligante bituminoso, el índice de adhesividad es 10.

6. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

V O C A B U L A R I O

Colmatar: Relleno de una depresión o cuenca por limos, materiales de deposición, etc. arrastrados por cualquier agente de transporte.

Coalescencia: (Juntarse, unirse). Acción por la cual los gránulos de una suspensión coloidal o las gotas de una emulsión se unen para formarse gránulos o gotas más voluminosas.

Cutback: (Voz inglesa). Betún asfáltico que contiene un disolvente, tal como bencinas pesadas, queroseno o creosota, que se evapora más o menos rápidamente una vez aplicado aquél.

Viscosidad: Propiedad de los cuerpos fluidos o semifluidos en virtud de la cual tienden a resistirse a todo cambio instantáneo en la forma o disposición de sus partes. Esta propiedad es la causa del rozamiento producido al moverse dos capas adyacentes de un fluido.

Viscosidad

Saybolt: Tiempo necesario, en segundos, para que 60 cm³. de un fluido fluyan a través de uno de los orificios del viscosímetro Saybolt. El aparato dispone de dos orificios de salida, intercambiables, cuyos diámetros respectivos son de 0,119 centímetros y 2,968 centímetros. La medida hecha en el orificio de 0,119 centímetros se denomina viscosidad Saybolt universal, y la obtenida utilizando el orificio de 2,968 centímetros de diámetro, Saybolt furol.